dibam
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS
ARCHIVOS Y MUSEOS

ANALES



DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE VALPARAÍSO

ISSN 0716-0178

VALPARAÍSO . CHILE

Diseño/ andrea vivar m.

ISSN 0716-0178/ An. Mus. Hist. Nat. Vol. 27 2014/ Valparaíso/ CHILE

dibam
DIRECCIÓN, DE BIBLIOTECAS
ARCHIVOS Y MUSEOS

ANALES
DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE VALPARAÍSO

ISSN 0716- 0178 / An. Mus. Hist. Nat. Vol. 27 2014/ Valparaíso/ CHILE

EDICIONES DE LA DIRECCIÓN
DE BIBLIOTECAS, ARCHIVOS Y MUSEOS.

Director (T y P) de Bibliotecas, Archivos y Museos
Alan Trampe Torrejón

Subdirección de Museos
Mario Castro Domínguez

Directora Museo de Historia Natural de Valparaíso
Loredana Rosso Elorriaga

ANALES
DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE VALPARAÍSO

Edición de 800 ejemplares
Museo de Historia natural de Valparaíso
Condell 1546 Casilla 3208, correo 3 Valparaíso
Valparaíso-Chile

USD $20 / más gastos de envío

ANALES
DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE VALPARAÍSO

INDICE

pag.

PRÓLOGO
Loredana Rosso E.............5

VALORACIÓN DEL ECOSISTEMA ESTERO LIMACHE, REGIÓNDE VALPARAÍSO (CHILE CENTRAL), MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD FLUVIAL.
Javiera Aranda de la Fuente, Jairo Valencia Muñoz, Hernán Gaete Olivares............7

DIVERSIDAD, ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LA FLORA VASCULAR DEL ESTERO DE VIÑA DEL MAR, REGIÓN DE VALPARAISO, CHILE.
Javier Arancibia Fortes, María Paz Araya Cabrera............15

NUEVAS ESPECIES DE AVES REGISTRADAS EN EL HUMEDAL EL YALI, CHILE CENTRAL.
Yerko A. Vilina' Charif Tala, Javiera Meza............28

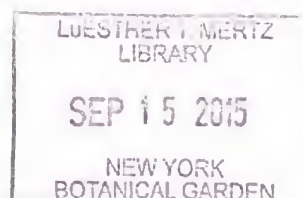
MORTALIDAD DE LA POBLACIÓN DE RANA GRANDE CHILENA, *CALYPTOCEPHALELLA GAYI* (CALYPTOCEPHALELLIDAE), EN LA LAGUNA MATANZAS, DEL HUMEDAL EL YALI, EN CHILE CENTRAL.
Paz L. Acuña-O, Claudia Ma. Vélez-R, Cyntia E. Mizobe, Carlos Bustos-López, Manuel Contreras-López............35

ELEMENTOS DE LA HISTORIA NATURAL DEL SISTEMA DE HUMEDALES EL YALI.
Manuel Contreras-López, Hernán Vergara Cortés, Rodrigo Figueroa Sterquel............51

CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS Y MINERALÓGICAS DE PLAYA EL YALI, REGIÓN DE VALPARAÍSO.
Hernán Vergara Cortés............68

EFECTOS DEL TERREMOTO Y TSUNAMI DEL 27 DE FEBRERO DE 2010 EN LA RESERVA NACIONAL EL YALI
Manuel Contreras-López............79

NORMAS PARA AUTORES............93



PRÓLOGO

"La revista representaba la ciencia Chilena. De este modo el nombre de nuestro país resonaba en los más importantes centros culturales del planeta, hasta el punto que nuestros compatriotas llegaban a un país lejano, y a informar a cualquier miembro de una Corporación científica de dónde iba, se dijera:¡a usted es de la tierra de Porter".

Revista Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso 56:7-9, 1983. Carlos Porter Mosso, 24 de diciembre de 1942, Mercurio de Valparaíso."

Me complace en extremo presentar el Volumen 27 de nuestra publicación científica, confiando en que tendrá la mejor de las acogidas, y que con ayuda de nuestros(as) colaboradores(as), constituirá un valioso aporte al mejor conocimientos de la Naturaleza.

Haciendo historia: En el año 1968 se publicó el primer número de la revista "Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso", gracias a los esfuerzos de la directora, doña Nina Ovalle Escobar y de los señores Roberto Fajardo y Álvaro Valenzuela, conto con el apoyo prestado por la Sociedad Científica de Valparaíso y de la Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos.

Hoy, con 46 años divulgando ciencias y con más de 421 artículos científicos, nuevamente reeditamos nuestra revista, con el compromiso institucional de perdurar en el tiempo, ya que existe una necesidad de acoger a las nuevas y a las más experimentadas generaciones de científicos.

El reconocimiento que se le ha otorgado a nuestra revista no sólo en Chile, sino además en el extranjero, nos ilumina para seguir editándola. Que mejor momento que hacerlo en nuestro aniversario 136 donde se procede a la inauguración de la nueva museográfica en nuestro Museo Historia Natural. Es por esta importancia que en el presente volumen, hemos querido reunir artículos vinculados con los humedales, disfrutemos de nuestra ciencia.

Loredana Rosso Elorriaga
Directora del Museo de Historia Natural de Valparaíso.

VALORACIÓN DEL ECOSISTEMA ESTERO LIMACHE, REGIÓNDE VALPARAÍSO (CHILE CENTRAL), MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD FLUVIAL.

Javiera Aranda de la Fuente*, Jairo Valencia Muñoz** & Hernán Gaete Olivares***

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la funcionalidad del ecosistema del estero Limache, ubicado en la Región de Valparaíso (Chile central). Para ello, en cuatro tramos homogéneos de éste estero, se aplicó un Índice de Funcionalidad Fluvial; en cada tramo se caracterizó la vegetación de ribera y la comunidad de macroinvertebrados. Los resultados muestran que en los tramos se encontraron en total 16 especies vegetales, según su origen un 62% son especies adventicias, 19% nativas y 19% endémicas. Se encontraron16 familias de macroinvertebrados, destacándose los taxa de las familias Chironomidae y Physidae caracterizadas por ser tolerantes a la contaminación. El Índice de Funcionalidad Fluvial (IFF) clasifica los tramos estudiados en el estero Limache en el rango de “Bueno-Mediocre” (II – III) a “Inferior” (IV). En conclusión, los tramos evaluados en el estero Limache no son compatibles con la conservación de biodiversidad acuática.

PALABRAS CLAVES

Vegetación de ribera, macroinvertebrados acuáticos, Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate ecosystem functionality Limache located in the Valparaíso Region (central Chile). In four homogeneous sections of the estuary, is applied a Fluvial Functionality Index. In each section of riparian vegetation and macroinvertebrate community was characterized. The results show that the sections were found in total 16 plant species according to their origin as 62% are adventitious species, 19% native and 19% endemic. For the other hand, 16 families of macroinvertebrates were found, highlighting the taxa of Chironomidae and Physidae families characterized by being tolerant to pollution. The fluvial functionality index (IFF) classifies the sections in stream Limache in the range of "Good-Fair" (II - III) to "Lower" (IV). In conclusion, the sections evaluated in Limache are not compatible with the conservation of aquatic biodiversity.

KEYWORD

Riparian vegetation, Wastewater Treatment Plant, aquatic macroinvertebrates.

* Ingeniera Ambiental; Instituto de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de Valparaíso, P. Lynch (s/n), Av. Playa Ancha, Valparaíso, Chile.
** Ingeniero Ambiental, Instituto de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de Valparaíso.P. Lynch (s/n), Av. Playa Ancha, Valparaíso, Chile.
** Doctor en Ciencias Ambientales, Instituto de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de Valparaíso, Av. Gran Bretaña, 1111, Playa Ancha Valparaíso, Chile.

INTRODUCCIÓN

Los ríos son ecosistemas que entre otras funciones regulan el balance hídrico de las cuencas, hábitat de especies de peces, macroinvertebrados y vegetación acuática etc. Por otra parte, proveen de servicios entre los cuales destacan energía hidroeléctrica, agua para diversos usos (consumo humano, riego agrícola, industrial), actividades recreativas, conservación de la biodiversidad etc. (Toledo, 2003). Sin embargo, debido a la creciente presión que ejercen las actividades antrópicas, la conservación de la biodiversidad acuática está siendo afectada negativamente por usos incompatible que deterioran la calidad del agua y el hábitat de las especies que habitan estos ecosistemas (Marchesey Paggi, 2004;Correa-Araneda et al., 2010).

Para la protección de los organismos acuáticos se han establecidos normas de calidad de aguas (Figueroa et al., 2007). Para ello, se determinan las concentraciones de agentes químicos por medio de métodos analíticos. Sin embargo, esta aproximación no es suficiente ya que no incorpora la dinámica de los factores bióticos y abióticos presentes en zonas acuáticas y terrestres del medio (Morolli y Santolini, 2006). De esta forma dichos métodos convencionales, solo proporcionan un resultado que carece de uno de los componentes fundamentales en la calidad del recurso hídrico, el componente más dinámico y en la actualidad más vulnerable del ciclo del agua, la biota (Zalewski, 2000).

El interés en las últimas décadas ha estado enfocado en conocer y proteger los ecosistemas fluviales y sus cambios en el tiempo, lo que ha estimulado el desarrollo de índices ecológicos e indicadores biológicos para la valoración y comprensión de los sistemas hídricos (Figueroa et al., 2003). Actualmente, son considerados en las legislaciones de diferentes países (Canepel et al., 2010). Sin embargo, en Chile solo son propuestos en la actualidad como herramientas complementarias en las normas secundarias de calidad aguas (CONAMA, 2004). En concordancia con lo anterior, el uso de índices integradores son de creciente interés. Para ello se está proponiendo el uso de índices de funcionalidad que tienen la ventaja de evaluar los ecosistemas acuáticos de forma global, considerando las principales características del río, tales como, zona ribereña, elementos morfológicos y biológicos entre otros (Negri et al., 2000).

El estero Limache, ubicado en la región de Valparaíso está catalogado como sitio de prioridad uno según la Estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad (CONAMA y PNUD, 2005). Los servicios proporcionados por éste curso hídrico son múltiples, su agua se utiliza para riego agrícola y recreación; actúa como receptáculo de la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) y se extraen áridos. Los estudios sobre su estado ecológico son escasos, sólo destaca el de Córdova et al., (2009), basado en índices con macroinvertebrados. En este trabajo se postula, que el ecosistema del estero Limache presenta un estado de funcionalidad deficiente. Por lo anterior, en la presente investigación el objetivo fue evaluar la funcionalidad del curso principal del Estero Limache, mediante la aplicación del Índice de Funcionalidad Fluvial (IFF).

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El estero Limache, tributario del río Aconcagua, es el principal cuerpo de agua para la provincia de Marga- Marga en la región de Valparaíso. Fluye con una morfología de ritrónes con alternados de rápidos pozones, y posee una extensión de 50 km. uniéndose al curso principal del río por la izquierda a sólo 8 km del mar, en Concón Alto. Posee cabeceras en la

vertiente Las Palmas, quebrada Alvarado y Cajón de la Dormida, más Abajo bisecta la ciudad de Limache y sigue al Oeste casi paralelo al curso del río Aconcagua. Conforma una típica hoya de régimen pluvial con una superficie de 573 km^2. Presenta clima de tipo mediterráneo y templado según la clasificación Köppen (CADE-IDEPE, 2004). Por otro lado, el estero Limache también es la base para la extracción de agua para riego agrícola, además de extracción de áridos; actúa como receptáculo de la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) y finalmente, es utilizado para actividades de recreación. (Córdova et al., 2007).

El estudio se realizó en el período estival entre los meses de septiembre y octubre 2012. Se seleccionaron cuatro tramos homogéneos a lo largo del cauce principal del estero Limache, los criterios de localización fueron determinados de acuerdo a las actividades antrópicas que se realizan (agrícola y descarga de efluentes de planta tratamiento), al régimen hídrico, accesibilidad a la zona de estudio y características homogéneas del área. La sección de cabecera de evaluación fue localizada en Lo Gamboa T1 y la zona final de estudio T4, fue ubicada en Puente Limache (Figura 1).



Figura 1. Localización de puntos y tramos de muestreo dentro del Estero Limache.

VEGETACIÓN

En cada tramo se caracterizó la vegetación de ribera al nivel taxonómico más bajo posible. Se utilizó la clave Hoffmann (1998).

MACROINVERTEBRADOS

El muestreo de los macroinvertebrados se realizó con muestreadorSuber (0,09 m^2). Los individuos colectados en frascos plásticos, fueron fijados en formalina al 4%. En el laboratorio se realizó la identificación al nivel taxonómico de familia según las claves Fernández y Domínguez (2001), Figueroa (2004), para ello se utilizó una lupa estereomicroscopio (STEMI DV4).

ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD FLUVIAL

Para la aplicación del índice en cada tramo seleccionándose recorrió el río desde el pie de valle hacia el monte, con una dirección opuesta al flujo del caudal hídrico, con observación a ambos lados del cuerpo de agua, por lo tanto por tramo seleccionado se generó un resultado caracterizando el lado izquierdo y derecho del río (Siligardi et al., 2010).
Las variables evaluadas fueron, características ecológicas del curso de agua, nivel de antropización, vegetación de ribera, curso hídrico, macroinvertebrados entre otros (Canepel et al., 2010).

La evaluación se realizó mediante el análisis en base a 14 preguntas, donde existen 4 posibles respuestas preestablecidas, las que pueden asumir un valor numérico donde el mínimo puntaje asignable es 1 y el máximo es 40. La atribución de estos valores numéricos no tiene justificación matemática, pero derivan de la valoración de expertos a los procesos funcionales del ecosistema (Canepel et al., 2010).

Finalmente, el puntaje total se obtiene de la suma de los puntajes parciales a cada pregunta y pueden llegar a un valor mínimo de 14 y un valor máximo de 300. A cada valor se le asigna un color, como se muestra en la tabla 1,que se traduce en el estado ecológico del cuerpo de agua, que en caso de ser mínimo adquiere un color rojo, mientras si adquiere el máximo toma una tonalidad morada (Canepel et al., 2010).

Tabla 1. Rangos de calidad del Índice de Funcionalidad Fluvial.

Valor de I.F.F.	Nivel de Funcionalidad	Juicio de Funcionalidad	Color
261-300	I	ÓPTIMO	
251-260	I-II	ÓPTIMO – BUENO	
201-250	II	BUENO	
181-200	II-III	BUENO – MEDIOCRE	
121-180	III	MEDIOCRE	
101-120	III-IV	MEDIOCRE – INFERIOR	
61-100	IV	INFERIOR	
51-60	IV-V	INFERIOR – PESIMO	
14-50	V	PESIMO	

RESULTADOS

En cuanto a la vegetación de ribera, se identificaron 16 especies de la clase Magnoliopsida presentes en el bosque de ribera, de las cuales 3 son endémicas, 3 nativas y 10 adventicias (Tabla 2). Las especies endémicas más representativas encontradas en los tramos son *Salix chilensis*, *Baccharis marginalis* y *Tessaria absinthioides*, éstas dos últimas especies en conjunto con *Populus nigra* (Álamo) fueron encontradas en los cuatro tramos en estudio. La distribuciónde las especies identificadas según su origen, 62% son especies adventicias; el 19 % son nativas y 19 % endémicas.

Con respecto a los macroinvertebrados se encontraron 16 familias que pertenecen a 15 Órdenes, 6 Clases y 3 Phylum. De estos, los *Chironomidae* y *Physidae* estuvieron presentes en los cuatro tramos (Tabla 3).

La clasificación de los tramos homogéneos mediante el índice de funcionalidad fluvial (Fig. 2) muestra que los tramos ubicados en el sector de Lo Gamboa T1 y T2 presentaron los niveles

más bajos de calidad ambiental. EL tramo T3 presentó para ambas riberas un juicio de funcionalidad de “Bueno- Mediocre” y T4 ubicado en el sector de Puente Limache se clasificó en la categoría de “Mediocre” para ribera izquierdas y para el sector derecho “Bueno-Mediocre”.

Tabla 2. Taxasvegetacionales presentes en los tramos de evaluación en el Estero Limache utilizados en IFF

ANGIOSPERMAE: MAGNOLIOPSIDA								
Nombre científico	Familia	Nombre Común	O[1]	FV	Estaciones			
					T1	T2	T3	T4
Baccharismarginalis	Asteraceae	Chilca	E	NA	*	*	*	*
Baccharispingraea		Chilquilla	N	NA		*	*	
Tessanaabsinthioides		Brea	E	NA	*	*	*	*
Acacia caven	Mimosaceae	Espino	N	F		*		
Acacia dealbata		Aromo	A	F	*	*		*
Rubusulmifolius	Rosáceae	Zarzamora	A	NA		*	*	
Salixbabylonica	Salicaceae	Sauce llorón	A	F		*	*	*
Salixchilensis		Sauce Chileno	E	F		*	*	*
Populusnigra		Alamo	A	F	*	*	*	*
Eucaliptus globulus	Myrtaceae	Eucaliptus	A	F	*			
Robinia pseudoacacia	Fabaceae	Robinia	A	F		*		
Otholobiumglandulosum		Culén	N	F		*		
Galega officinalis L.		Galega	A	He		*		
Calystegiasepium	Convolvulaceae	Suspiro	A	NA		*		
Datura stramonium	Solanaceae.	Chamico	A	NA		*		
Menthapipenta	Lamiaceae	Menta	A	H			*	

Tabla 3. Familias de Macroinvertebrados registrados en los tramos evaluados

PHYLLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	Estaciones			
				T1	T2	T3	T4
Annelida	Oligochaeta	Clitellata	Tubificidae	1	1		1
	Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae		1		1
	Crustacea	Ostracoda	Cyprididae	1			1
		Amphipoda	Hyalellidae		1	1	1
	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	1		1	
			Hydrophilidae			1	
		Diptera	Chironomidae	1	1	1	1
			Ephydridae				1
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae				1
		Hemiptera	Belostomatidae			1	
		Odonata	Aeshnidae			1	
			Coenagrionidae			1	1
		Trichoptera	Hydropsychidae				1
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	1	1	1	1
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladia	Dugessidae				1
Riqueza total				5	5	8	11

[1] O: origen, N: nativo, E: endémico, A: adventicia FV: forma de vida: F: fanerófito, Na: nanofanerófito, H: hierbas, He=Hemicriptófitos.

Figura 2. Mapa Funcionalidad Fluvial del Estero Limache.



DISCUSIÓN

Las evaluaciones biológicas de la calidad de las aguas de los ríos, progresivamente, están complementando o reemplazando la medición de parámetros químicos, que por sí solos, no proporcionan información global del cuerpo de agua ni los efectos de perturbaciones sobre organismos vivientes (Moreno et al., 2006).

Los tramos T1 y T2 se clasificaron con una calidad ambiental "mediocre- inferior", esto se debe a que son tramos con alta intervención antrópica, el territorio circundante está representado por cultivos agrícolas que se extienden hasta las cercanías del cauce del río. Esto sugiere la posible entrada de agentes químicos como plaguicidas y nutrientes. Además, se afecta la geomorfología del cauce por aterramiento y desviaciones del curso de agua, disminuyendo la funcionalidad de este tramo en el estero Limache.

Las aguas de los tramos T1 y T2 del sector de Lo Gamboa, presentan eutroficación, situación que impide que la comunidad macrobentónica habite el medio, generando así una evidente alteración en su estructura. Estos sectores presentaron cinco especies de macroinvertebrados, correspondientes a las *Physidae, Chironomidae y Tubificidae*tolerantes a hábitat con bajas concentraciones de oxígeno y altos niveles de materia orgánica (Huamán et al., 2002; Figueroa et al., 2003). El índice de funcionalidad fluvial clasifica los tramos pertenecientes al sector de Lo Gamboa como T1 "Mediocre- Inferior" para ambas riberas y T2, ribera derecha "Mediocre-Inferior" y ribera izquierda como "Inferior". Córdova et al., (2009) reporta similar situación para este sector. Estos autores, aplicando los índices Signal2 y ChIBF coinciden con lo obtenido por el índice de funcionalidad fluvial ya que evidencian para ambas secciones una mala calidad de agua.

El tramo T2 presenta diversas intervenciones, tales como presencia de construcción de muros laterales, situación que fragmenta el sistema ecológico del lugar; extracción de áridos lo que provoca modificación del curso de agua y la dinámica, altera el paisaje, la biota circundante del sistema ecológico y genera riesgo de contaminación. En este tramo, se destaca la descarga del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), esto podría explicar la eutrofización del Estero Limache. Al respecto Jáuregui et al., (2007) encontró que el río Mololoa (Nayarit, México), presenta eutroficación, situación que se provoca por la disminución

del oxígeno disuelto, debido al aumento de la degradación bilógica de la materia orgánica, aporte que entrega la descarga de un efluente de PTAS emplazada en el curso hídrico.
El tramo 3 se clasificó de acuerdo al índice de funcionalidad como “bueno - Mediocre”. Esta sección tiene la menor intervención antrópica, debido a que es de difícil acceso comparado con los otros tramos, así se explicael mejor nivel de funcionalidad. Esto concuerda con lo señalado por Canepel et al., (2010) que a menor accesibilidad del sector ribereño de los cursos de agua, se favorece el crecimiento de la vegetación. Similar situación reporta Carvajal (2009), quien destaca que a menor intervención antrópica en el paisaje ribereño se favorece el desarrollo natural del ecosistema. Por ello, el tramo T3 presenta especies inmersas y consolidadas, *Baccharismarginalis, Salixbabylonica* y *Tessariaabsinthioides*, las que proporcionan al entorno naturalidad, que favorece las necesidades hidráulicas y medio ambientales del curso hídrico (Piro et al., 2010). Cabe destacar que en sólo en este tramo, se encontraron estados larvales de peces. No obstante lo anterior, este tramo también presentan algún grado de deterioro, debido principalmente a los residuos que son transportados por el río desde la zona aguas arriba.

El tramo T4 se clasificó con funcionalidad para ribera izquierda de “mediocre” y ribera derecha como “Buena- Mediocre”, lo que se debe a que presenta vertimiento de residuos sólidos y escombros, que ocasiona pérdida del paisaje impactos y potenciales riesgos sanitarios. Por otro lado es debido a esta situación antes expuesta que se provoca el fenómeno de transporte por el río de materiales flotantes como bolsas y recipientes plásticos, material vegetal, empaques de comestible, entre otros, lo que provoca la destrucción de la biodiversidad. No obstante T4 evidenció una mejor calidad ambiental en comparación a los tramos evaluados en el sector de Lo Gamboa, su juicio de funcionalidad promedio para ambas riberas es del nivel III, mayor que las registradas para T1 y T2 de IV y IV- III respectivamente. Esto es similar según lo estudiado por Córdova et al., (2009) donde la calidad del agua aumenta al alejarse de la PTAS(Lo Gamboa) hacia el sector de Puente Limache.

CONCLUSIONES

La calidad ambiental del estero Limache, vario de “inferior” a “buena-Mediocre”, en respuesta a la actividad agrícola, intervención del cauce, depósito de residuos, extracción de áridos y a la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas servidas. Los tramos evaluados en el estero Limache no son compatibles con la conservación de biodiversidad.

El índice de Funcionalidad Fluvial resulta ser de fácil aplicación y económico por lo que se sugiere su uso para futuros estudios de funcionalidad de ecosistemas lóticos en el país.

BIBLIOGRAFÍA

CADE-IDEPE. (2004) Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Aconcagua. Proyecto P-1940 presentado a Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas. Consultado el 15 de Julio del 2012, en: http://www.sinia.cl/1292/articles-31018_Informemetodologia.pdf
CANEPEL, R.; BURROWS, F.; DALLAFIOR, V. Y SILIGARDI, M. (2010). IFFAr Índice de Funcionalidad Fluvial En Ríos Andinos de la Región de La Araucanía. Ediciones: Sede Regional Villarica de Pontificia Universidad Católica de Chile y Agenzia Provinciale Per La Protezione Dell´ Ambiente Di Trento. ISBN: 978-956-14-1133-3.
CARVAJAL, E. (2009) Impacto Ambiental y Social del Vertimiento de Residuos Sólidos y Escombros Sobre la Calidad del Río Medellín y Algunos de sus Afluentes. Universidad San Buenaventura, El Ágora USB. 9(1), pp.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA) Y PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). (2005). Estrategia y Plan de Acción para la conservación de la Diversidad Biológica de la Región de Valparaíso. Consultado el 15 de Julio de 2012 en: http://www.mma.gob.cl/biodiversidad/1313/articles 48841_EstrategiaRegionalBiodiversidadPDA_5.pdf

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA). (2004). Guía para el desarrollo de normas para la protección de las aguas continentales superficiales. CONAMA, Gobierno de Chile, Santiago, 23 pp.

CÓRDOVA, S. (2007). Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadoes de calidad de agua; respuesta al funcionamiento de una planta de tratamiento en el estero Limache, V región Valparaíso. [Tesis de pregrado]. Ingeniería Ambiental de Universidad de Valparaíso.

CÓRDOVA, S.; GAETE, H.; ARÁNGUIZ F Y FIGUEROA R. (2009) Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. Lat. Am. J. Aquar Res, 37(2): pp. 199-209.

CORREA-ARANEDA F.; RIVERA R.; URRUTIA J.; DE LOS RÍOS P.; CONTRERAS A. Y ENCINA-MONTOYA E. (2010). Efectos de una zona urbana sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de un ecosistema fluvial del sur de Chile. Limnética. 29(2): pp.183-194.

FERNÁNDEZ, H. Y DOMÍNGUEZ E. (2001). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos, Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales, Instituto M. Lillo. 237pp.

FIGUEROA, R., C. VALDOVINOS, E. ARAYA Y PARRA O.(2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del Sur de Chile. Rev. Chil. Hist. Nat., 76: 275-285.

FIGUEROA, R. 2004. Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chillán, VIII Región, Chile, Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad de Málaga, 260 pp.

FIGUEROA, R., A. PALMA, V. RUIZ Y NIELL X. (2007). Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. Rev. Chil. Hist. Nat., 80: 225-242.

HOFFMANN, A. (1998). Flora Silvestre de Chile zona central 4ª edición Ed. Fundación Claudio Gay, 254 p.

HUAMÁN P.; MARIANO M.; CHANCO M. Y MONTOYA H. (2002). Estructura del macrobentos de la laguna de Paca, Junín. RevPeruBiolo. 9(1): 29-38.

JÁUREGUI C.; RAMÍREZ S.; ESPINOZA M.; TOVAR R.; QUINTERO B. Y RODRÍGUEZ I. (2007). Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. Rev. Latin. Rec. Nat, (3): 65-73.

MARCHESE, M. Y PAGGI A. (2004). Diversidad de Oligochaeta (annelida) y Chironomidae (Diptera) del Litoral Fluvial Argentino. INSUNGEO, Miscelánea, 12:217-224.

MORENO J.; NAVARRO C Y DE LAS HERAS J. (2006) Propuesta de un índice de vegetación acuática (IVAM) para la evaluación del estado trófico de los ríos de Castilla-La Mancha: Comparación con otros índices bióticos. Limnética. 25(3): pp. 821-838.

MOROLLI C. Y SANTOLINI R. (2006) Riqualificazione de icorsi d' acqua: Un indice per analizzare le criticità. ACER (3): pp. 66-71.

NEGRI P.; SILIGARDI M.; FRANCESCON M.; FUGANTI A.; MONAUNI C Y POZZI S. (2004). The fluvial functioning index: an ecological assessment applied for river restoration. 3rd European Conference on River Restoration, Croatia, 17-21.

PIRO, P. CARBONE, M., Y TOMEI, G. FLUVIAL FUNTIONAL INDEX (FFI) (2010).A tool to requalify river environment – experimental study. Department of Soil Conservation, University of Calabria, Rende (CS), Italy. Consultado el 21 de enero 2014 en: http://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/IAHR_2010_European_Congress/Papers%20by%20session%20final/Eco-Hydraulics%20I/EHIc.pdf.

SILIGARDI M., BERNABEI S., CAPPELLETTI C., CHIERICI E., CIUTTI F., EGADDI F., FRANCESCHINI A., MAIOLINI B., MANCINI L., MINCIARDI M.R., MONAUNI C., ROSSI G.L., SANSONI G., SPAGGIARI R. Y ZANETTI M., (2000). I.F.F. Indice di funzionalità fluviale. Manuale ANPA. APAT Roma. 1993.

TOLEDO, A. 2003. Ríos, Costas y Mares. México: INE-SEMARNAT, 116 p.

ZALEWSKI, M. (2000). Ecohydrology- the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. Ecological engineering. (ELSEVIER) 16 (1-8).

DIVERSIDAD, ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LA FLORA VASCULAR DEL ESTERO DE VIÑA DEL MAR, REGIÓN DE VALPARAISO, CHILE

Javier Arancibia Fortes* - María Paz Araya Cabrera**

RESUMEN

Este estudio identifica y describe la flora vascular y su distribución en el estero de Viña del Mar, en tres tramos definidos (Bajo. Medio y Alto); encontrándose una riqueza florística de 81 especies predominando las hierbas anuales y perennes, 28.75% y 53.75% respectivamente, con una gran representación de macrófitas (Hidrófitos y Helófitos). La clase mas representada corresponde a la Magnopliopsida (83.75%), con un origen fitogeográfico primordialmente adveno (68.75%) típico de ambientes antropizados.

Destaca en el estudio las mayores frecuencias de plantas en el tramo medio del estero, que han conformado recientemente, desde el término de los trabajos de la autopista troncal sur, un sistema de humedal palustre dulceacuícola de gran interés ecológico y botánico.

PALABRAS CLAVE

Corriente, Macrófitos, humedales, riqueza florística

ABSTRACT

This study identifies and describes the vascular flora and its distribution in the Viña del Mar stream, on three definite sections (Down, middle and top place); founding a floristic wealth of 80 species predominating over the annual and everlasting grasses (herbs), 28.75 % and 53.75 % respectively, with a great representation of macrophytes (Hydrophytes and Helophytes). The most representative class corresponds to the Magnopliopsida (83.75%), with a phytogeographic origin basically adventitious (68.75 %) typical from antropic environments.
Stand out in this study the major frequencies of plants in the middle sector's creek, in which has formed recently, from the ends of the works in the highway main south, a system of wetland marshy freshwater of great ecological and botanical interest.

KEY WORDS

Stream, Macrophytes, wetland, Floristic wealth

*Instituto de Ciencias Ambientales Universidad de Valparaíso
**Gran Bretaña 1111. Playa Ancha. Valparaíso. Casilla 5030.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio, basado en las prospecciones botánicas en el estero de Viña del Mar, tiene por objetivo determinar la flora existente, caracterizarla y estudiar su distribución; así como también el estado de conservación y el origen de las especies. También permitirá comparar estos resultados obtenidos con la información recopilada de estudios anteriores.

La zona de estudio se inserta dentro de la región del Matorral y del Bosque Esclerófilo, y en la sub-región del Bosque Esclerófilo Costero, el cual, en los últimos 400 años ha sido sometido a diferentes intervenciones antrópicas. Además de las comunidades representativas, es decir, aquellas de más amplia distribución, se presentan también comunidades formadas por la Grama salada (*Distichlis spicata*), el culén (*Psoralea glandulosa*), el sauce amargo (*Salix chilensis*) y la Zarzamora (*Rubus ulmifolius*) y junto al cauce de quebradas y laderas muy húmedas, una agrupación características con componentes esclerófilos y laurifolios higrófilos. (Gajardo, 1994)

El Matorral arborescente esclerófilo mediterráneo costero, es el piso de vegetación cuya dinámica está dada por las perturbaciones antrópicas, especialmente los incendios y cortas recurrentes, existiendo también Comunidades Intrazonales de cursos de agua: *Salix chilensis-Maytenus boaria; Tessaria absinthioides-Baccharis pingraea*; (Luebert y Pliscoff Luebert, 2006).

El clima de la región es del tipo mediterráneo (Di Castri y Hajek, 1975). La precipitación anual oscila entre 400 y 500 mm, la que se concentra en la época invernal provocando un marcado aumento de los cauces. La influencia de las neblinas costeras que aumenta la humedad atmosférica, atenúa la sequía estival propia del macroclima (Novoa y Villaseca 1989).

En la flora de Chile existen unas 450 especies hidrófilas, es decir, hidrófitos y helófitos que soportan diferente profundidad y duración del anegamiento. Esta cantidad puede variar de acuerdo al criterio que se utilice para delimitar entre helófitos (Plantas palustres) y terófitos (plantas terrestres). Considerando que la flora chilena esta formada por 5.000 especies, la flora hidrófila correspondería a menos al 10 % de ella. La flora hidrófila de plantas vasculares de Chile se reparte en 7 clases: 3 del grupo pteridófitos, 1 de Gimnospermas, y 3 de Angiospermas. Las tres últimas son las más importantes ya que reúnen al 96,62 % de la flora hidrófila chilena. La dominante es la clase Rosopsida (Eudicotiledoneas), con 221 especies y un 53,25 % del total. De las otras, solo las clases Liliopsida y Polipodiopsida tienen alguna importancia. Los helófitos (plantas palustres) dominan sobre los hidrófilos (plantas de agua) con 350 especies y un 84,34 % del total. Las plantas acuáticas solo presentan 65 especies, que equivalen al restante 15,66 %.(Ramírez y San Martín, 2006).

Para la desembocadura del río Aconcagua se reconocieron 101 especies vegetales, evidenciándose al menos 4 comunidades de plantas: Comunidades hidrófilas que viven en el agua representadas por los géneros *Equisetum, Azolla, Nasturtium, Ludwigia, Poligonum, Ranunculus, Mimulus, Scirpus, Cyperus, Juncus, Lemna, Phragmites, Potamogeton, Typha, Hidrocoltile*; Comunidades de hidrófilas que viven a orillas del agua representadas por los géneros *Apium, Pluchea, Cotula, Baccharis, Rumex, Mentha, Otholobium, Galega, Rubus, Salix, Verbena*; Comunidades de plantas terrestres que viven alejadas del agua representadas por *Podanthus, Baccharis, Schinus, Maytenus, Acacia* y una comunidad de dunas representadas por los géneros *Carpobrotus, Ambrosia, Distischlis y Sarcocornia* (Arancibia J., 2006).

En la V Región, provincia de Valparaíso, existen arroyos conocidos localmente como esteros que tienen su origen en los cerros costeros y cruzan las planicies litorales para desembocar al Pacífico, ya sea directamente, o a través de un emisario. La flora asociada a estos cursos y cuerpos de agua ha sido escasamente estudiada.

Al compararse La flora de los cuerpos límnicos, estero Marga-Marga (Palma et al. 1987), el estero de Limache (Ramírez et al. 1991) y el estero de Reñaca (Ramírez et al. 2001) se determino que sólo hay 10 especies comunes a ellos y que corresponden a típicas plantas acuáticas (hidrófitos) ya sea natantes, flotantes libres o sumergidos. Se trata de *Azolla filiculoides*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Ludwigia peploides*, *Mimulus bridgesii*, *Rorippa nasturtium-aquaticum*, *Veronica anagallis-aquatica*, *Eleocharis bonariensis*, *Lemna gibba*, *Potamogeton berteroanus* y *Zannichellia palustris*. El estero Reñaca tiene 14 especies en común con el estero Marga-Marga, pero solo una, en común con el estero Limache, esta última, corresponde a *Apium nodiflorum*. Esto se debe a la alta similitud de ambientes entre los dos primeros, que cruzan sectores poblados antes de desembocar al mar, presentando una zona inferior con influencia salina. La diferencia entre la flora de estos tres cuerpos acuáticos está en el componente de malezas típicamente ruderal, lo que indica una diferenciación en el grado de influencia antrópica recibida por cada uno. El hábitat con mayor artificialización sería entonces, el estero Marga-Marga en su tramo urbano (Ramírez et al. 1991).

La composición florística, la abundancia de las especies y algunas variables ambientales controladas, permiten establecer grupos de sectores vegetacionales diferentes; unos de cabecera, (sectores en el nacimiento del estero), y otros medios e inferiores, (sectores en la zona media y baja del estero), cuyas aguas se encuentran mas eutroficazas, mientras que los sectores cercanos a la desembocadura presentan aleatoriedad en la composición florística, por ser los sectores mas intervenidos, con especies exclusivas, baja cobertura vegetacional y alta salinidad. Por otra parte, la vegetación de hidrófilas y algas clorofilas sufre desapariciones masivas durante el período de las lluvias intensas, las que aumentan considerablemente el caudal de los esteros, aunque se recupera con relativa facilidad. (Palma et al. 1985).

La Flora y vegetación de las laderas del estero Marga marga (Redón J., 2003), está formada por 100 especies de plantas herbáceas y leñosas, sin considerar un importante número de especies de gramíneas y algunas herbáceas no incluidas en aquella publicación, las cuales se encontraban aún en proceso de determinación taxonómica. Llama la atención lo expresado anteriormente, toda vez que el área muestreada es relativamente pequeña comparada con la cuenca del estero de Viña del Mar, incluyendo todas las subcuencas que lo alimentan. Junto a la presencia mayoritaria de fanerófitos, además de algunos pocos caméfitos, se suma en primavera una importante cantidad de especies de terófitos, hemicriptófitos, y geófitos.

Los humedales corresponden a unidades del paisaje determinadas por un anegamiento estacional o permanente del suelo. (Ramírez et al. 2001-2002) En términos geológicos son terrenos cuya napa freática está frecuentemente sobre, cerca o al nivel de la superficie, por lo que se encuentra saturada de agua, por un periodo de tiempo suficiente como para que se generen condiciones acuáticas que alberguen un tipo especial de vegetación y varios tipos de actividad biológica adaptados a un ambiente de alta humedad. Estos ambientes representan los sistemas mas productivos y ricos en biodiversidad del planeta siendo clasificados como sistemas intermedios entre ambientes permanentemente inundados y normalmente secos, su diversidad depende de donde se *encuentren* localizados, de su origen, sus características físico-químicas, tipo de vegetación dominante y características del suelo o sedimentos (Hauestein et al. 1999). A pesar de su importancia, ecológica y productiva como

socioeconómica y recreativa; en la actualidad son los ecosistemas más amenazados. Esto ha generado preocupación mundial por su conservación y protección.

ÁREA DE ESTUDIO

El estero de Viña del Mar nace en la confluencia de los esteros Marga Marga y de Quilpué a la altura del puente Las Cucharas, y desemboca en el mar a la altura del puente Casino recorriendo una distancia de 7,3 Km. Abarcando una superficie aproximada hasta el límite de las crecidas de aproximadamente de 70 Há. (Fig.1).

Las coordenadas geográficas para cada uno de los sectores de estudio fueron: Tramo Bajo: 19H0261703/6343278 - 19H0263601/6342322; Tramo Medio: 19H0263794/6342201 - 19H0265313/6340934; y para el Tramo Alto: 19H0265693/6340480 - 19H0267198/6339570.

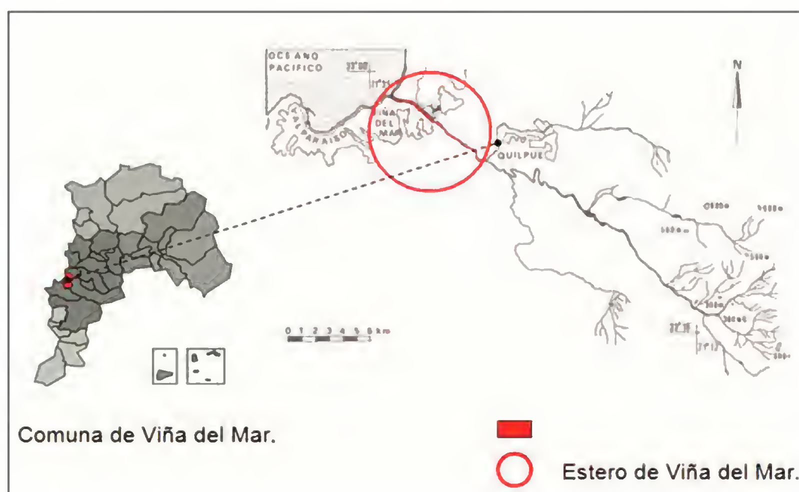


Figura 1. Mapa que indica la Ubicación Estero de Viña del Mar en la Quinta Región de Valparaíso

MATERIALES Y MÉTODOS

En el sector se realizaron prospecciones botánicas durante las temporadas de otoño y primavera seccionando el curso de agua en tres tramos (Bajo, Medio y Alto) donde en cada uno de ellos se efectuaron 10 parcelas rectangulares de 10 m^2 dispuestas en forma perpendicular al estero con el fin de desarrollar el Catastro Florístico (listado de todas las especies encontradas) considerando información taxonómica y el origen de cada una de las especies (según Marticorena y Quezada 1985, Matthei 1995 y Ramírez 2006), su estado de conservación (según Benoit, 1998; IUCN, 1994; Ramírez, 2006) y las formas de vida según la posición de las yemas de renuevo (modificado de Raunkiaer, 1956).

Para el reconocimiento de especies se contó con bibliografía especializada y colecta de material para herborización y clasificación y para estimar su abundancia se trabajó con la tabla de frecuencias y % de frecuencia (según Braun – Blanquet). Par analizar la similitud taxonómica de los distintos tramos del estero se utilizó el índice de Jaccard. (En Matteucci, 1982)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La diversidad florística en el estero de Viña del Mar, comprende 80 especies distribuidas en 39 Familias y 4 clases: Equisetopsida, Filicopsida, Magnoliopsida y Liliopsida, donde la clase más representada es Magnoliopsida (Dicotiledóneas) con un 31 Familias (79.4%) con 67 especies (83.75%). Al comparar esta riqueza difiere mucho con las 41 especies encontrada en el estero Marga Marga por Palma et al, 1987, debido principalmente a que el autor considero solamente las plantas Hidrófitas y Helófitas sin considerar Terófitas ni Fanerófitas (Tabla 1).

Tabla 1.Se índica la Información taxonómica de las especies vegetales, indicando clase, familia y especie en número y porcentaje

Clase	Familias		Especies	
	Nº	%	Nº	%
Equisetopsida	1	2.6	1	1.25
Filicopsida	2	5.2	2	2.5
Magnoliopsida	31	79.4	67	83.75
Liliopsida	5	12.8	10	12.5
Total	39	100	80	100

Las Familias más representadas en la clase Magnoliopsida son Asteraceae con 16 especies; Papilonaceae con 7 especies y Apiaceae, Polygonaceae y Solanaceae con 4 especies cada una. En la clase Liliopsida las Familias más representadas son Cyperaceae y Poaceae con 3 especies cada una (Tabla 2)

Tabla 2. Catalogo vegetal, que indica nombre común y científico, origen, forma de vida, estado de conservación y presencia de dichas especies en los tres tramos de estudio.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE VULGAR	ORIGEN	F.V.	E.C.	TRAMOS		
						BAJO	MEDIO	ALTO
PTERIDOFITA: CLASE EQUISETOPSIDA								
Equisetaceae	*Equisetum bogotense*	Hierba del platero	N	Hel	FP		*	
PTERIDOFITA: CLASE FILICOPSIDA								
Azollaceae	*Azolla filiculoides*	Hierba del pato	N	Hi	FP	*	*	*
Polypodiaceae	*Cheilanthes sp*	Doradilla	N	He	FP		*	
ANGIOSPERMAE: CLASE MAGNOLIOPSIDA								
Amaranthaceae	*Althernanthera philoxeroides*	Maleza del Caimán	A	Hi	NE	*		
Apiaceae	*Apium nodiflorum*	Apio silvestre	A	Hi	NE	*	*	*
	Comium maculatum	Cicuta	A	Te	NE	*	*	*
	Foeniculum vulgare	Hinojo	A	He	NE	*		
	Hydrocotyle ranunculoides	Sombrerito de agua	N	Hi	FP	*	*	*
Asteraceae	*Ageratina glechonophyllum*	Barbón	N	Na	FP			*

	Aster squamatus	Aster	A	Te	NE		*	
	Baccharis linearis	Romerillo	N	Na	FP			*
	Baccharis marginalis	Chilca	N	Na	FP	*	*	*
	Bidens aurea	Te de burro	A	He	NE	*		
	Chrisanthemum coronarium	Manzanillón	A	Te	NE		*	*
	Coniza bonariensis	Coniza	A	Te	NE		*	
	Cotula coronopifolia	Botón de Oro	A	Hel	NE	*	*	*
	Anthemis cotula	Manzanilla hedionda	A	Te	NE		*	
	Matricaria chamomilla	Manzanilla	A	Te	NE		*	*
	Lactuca serriola	Lechuga silvestre	A	Te	NE		*	
	Senecio adenotrichus	Senecio	N	Ca	FP	*		
	Sonchus oleraceus	Cerrajilla	A	Te	NE	*	*	*
	Taraxacum officinalis	Diente de León	A	He	NE	*		
	Tessaria absinthioides	Brea	N	Na	FP	*		
	Xanthium cavallinesi	Clonqui	A	Te	NE	*	*	
Brasicaceae	*Hirschfeldia incana*	Mostacilla	A	Te	NE	*	*	*
	Rorippa Nasturtium-aquaticum	Berro	A	Hi	NE	*	*	*
Callitrichaceae	*Callitriche palustris*	Estrella de agua	A	Hi	NE		*	
Chenopodiaceae	*Chenopodium alba*	Quinguilla	N	Te	FP	*	*	*
	Chenopodium ambrosioides	Paico	A	Te	NE	*	*	
Convolvuilaceae	*Convolvulus arvensis*	Correhuela	A	Te	NE		*	
Cucurbitaceae	*Cucurbita ficifolia*	Alcayota	A	He	NE		*	
Euphorbiaceae	*Ricinos communis*	Ricino	A	Na	NE	*	*	*
Fumariaceae	*Fumaria officinalis*	Hierba de la culebra	A	Te	NE			*
Geraniaceae	*Erodium cicutarium*	Relojillo	A	Te	NE			*
Hydrocharitaceae	*Elodea potamogeton*	Luchecillo	A	Hi	NE	*	*	*
Labiatae	*Mentha citrata*	Hierba buena	A	He	NE		*	
	Mentha piperita	Menta	A	He	NE		*	*
	Mentha pulgium	Poleo	A	He	NE		*	*
Lemnaceae	*Lemna gibba*	Lenteja de agua	A	Hi	NE	*	*	*
Lobeliaceae	*Lobelia excelsa*	Tabaco del diablo	N	Na	FP			*
Mimosaceae	*Acacia dealbata*	Aromo	A	Mi	NE	*	*	*
Onagraceae	*Ludwigia peplioides*	Pepinillo de agua	N	Hi	FP	*	*	*
Papaveraceae	*Eschscholzia californica*	Dedal de oro	A	He	NE			*
Papilonaceae	*Galega officinalis*	Galega	A	He	NE	*	*	*
	Medicago sativa	Alfalfa	A	Te	NE		*	
	Melilotus indica	Trébol amarillo	A	Te	NE		*	
	Otholobium glandulosum	Culén	N	Mi	FP		*	*
	Trifolium pratense	Trébol rosado	A	He	NE			*
	Trifolium repens	Trébol blanco	A	He	NE		*	

	Trifolium sp	Trébol	A	He	NE		*	
Plantaginaceae	*Plantago major*	Llantén	A	He	NE	*		
Polygonaceae	*Muehlenbeckia hastulata*	Quilo	N	Na	FP			*
	Parietaria debilis	Parietaria	A	Te	NE		*	*
	Polygonum persicaria	Duraznillo de agua	A	Hel	NE	*	*	*
	Rumex crispus	Romaza	N	Te	FP	*	*	*
Potamogetonaceae	*Potamogeton berteroanus*	Huiro	N	Hi	FP	*	*	*
Ranunculaceae	*Ranunculus muricatus*	Centella	A	He	NE	*	*	
Rosaceae	*Rubus ulmifolius*	Zarzamora	A	Na	NE	*		*
Salicaceae	*Salix babylonica*	Sauce Llorón	A	Mi	NE	*	*	*
	Salix caprea	Sauce blanco	A	Mi	NE		*	*
Schrophulareaceae	*Mimulus glabratrus*	Berro amarillo	N	Hi	FP		*	*
	Stemodia chilensis	Copntrayerba	N	He	FP	*	*	
	Veronica anagallis aquatica	No me olvides del campo	A	Hel	NE	*	*	*
Solanaceae	*Datura stramonium*	Chamico	A	Te	NE	*	*	*
	Nicotiana glauca	Palqui inglés	A	Na	NE		*	*
	Solanum ligustrinum	Natri	N	Na	FP		*	
	Solanum nigrum	Tomatillo	A	Te	NE	*		
Tropaeolaceae	*Tropaeolum majus*	Espuela de galán	A	Te	NE	*	*	
Urticaceae	*Urtica urens*	Ortiga	A	Te	NE			*
Verbenaceae	*Verbena litoralis*	Verbena	N	He	FP	*	*	*
ANGIOSPERMAE: CLASE LILIOPSIDA								
Alismataceae	*Alisma plantago*	Llantén de agua	A	He	NE		*	
Cyperaceae	*Carex decidua*	Carex	N	Hel	FP	*	*	
	Cyperus eragrostis	Cortadera	N	Hel	FP		*	*
	Scirpus californicus	Trome	N	Hel	FP		*	
Juncaceae	*Juncus buffonis*	Junquillo	A	Hel	NE		*	*
	Juncus dombeyanus	Junco	A	Hel	NE		*	
Poaceae	*Agrostis stolonifera*	Chépica	A	He	NE		*	*
	Phragmites communis	Carrizo	A	Hel	NE		*	
	Polipogon viridis	Cola de zorro	N	He	FP	*	*	
Tythaceae	*Typha domingensis*	Totora	A	Hel	NE		*	
		RIQUEZA PARCIAL				39	62	46
		RIQUEZA TOTAL					80	

La mayor parte de la flora se distribuye en el Tramo medio del Estero de Viña del Mar, con una riqueza de 62 especies, el Tramo Alto del estero posee una riqueza de 46 especies y el Tramo Bajo solamente tiene una riqueza de 39 especies, posiblemente debido a la mayor influencia

antrópica (Estacionamiento y extracción de arena) y a la mayor influencia marina que saliniza el medio.

Par cada sector se identificaron especies exclusivas, estas son: para el Tramo Bajo (8 especies) se reconocen Maleza del caimán, Té de burro, Senecio, Diente de león, llantén, Tomatillo, Cola de zorro, Siempreviva. Para el Tramo Medio (20 especies) se reconocen Hierba del platero, Doradilla, Aster, Coniza, Manzanilla hedionda, Lechuga silvestre, Estrella de agua, Correhuela, Alcayota, Hierba buena, Alfalfa, Trébol amarillo, Trébol blanco, Natri, Llantén de agua, Trome, Junco, Carrizo y Totora. Y para el tercer Tramo en la parte Alta del estero, Barbón, Romerillo, Hierba de la culebra y Relojillo, Tabaco del diablo, Dedal de oro, Trébol rosado, Quilo y Ortiga (Tabla 3).

Tabla 3. Matriz de similitud taxonómica (Índice de Jaccard)

	Tramo Bajo	Tramo Medio	Tramo Alto
Tramo Bajo	*	51.71	57.58
Tramo Medio	*	*	54.61
Tramo Alto	*	*	*

De acuerdo a la Tabla 3 existe una mayor similitud taxonómica entre el Tramo Bajo y Alto debido a que estos sectores están más influenciados por las acciones humanas y del entorno (marismas). El sector medio encuentra similitudes más bajas, respecto de los otros tramos, puesto que este presenta una mayor riqueza y mayor número de especies exclusivas probablemente debido al aislamiento en que quedo el sector medio por las obras del troncal sur que impiden el acceso a las personas.

Se cuantificaron 7 formas de vida, predominando las hierbas anuales, Terófitos con un 28.75% y las Hierbas perennes, Hemicriptófitos con un 25% y Helófitos e Hidrófitos con un 13.75% cada uno, como muestra la tabla **4.** Los arbustos, Nanofanerófitos alcanzan el 12.5% y los árboles, Microfanerófitos y subarbustos, Caméfitos son escasos.

Tabla 4. Distribución de las especies vegetales según Formas de Vida.

Formas de Vida (F.V.)	Nº	%
Microfanerófitos	4	5
Nanofanerófitos	10	12.5
Caméfitos	1	1.25
Hemicriptófitos	20	25
Helófitos	11	13.75
Hidrófitos	11	13.75
Terófitos	23	28.75
Total	80	100

En el espectro biológico de la figura 2, se observa claramente el predominio de las formas de crecimiento herbáceas (Terófitos, Hemicriptófitos, Helófitos e Hidrófitos) con un 81.25% de presencia y con una baja representación de plantas leñosas o semileñosas (Microfanerófitos, Nanofanerófitos y Caméfitos). En este sentido los resultados son muy similares a los encontrados en el estero de Reñaca por San Martín et al, 2006 donde más del 80 % fueron plantas herbáceas y en el trabajo de Arancibia J., 2006, donde se encontró para la desembocadura del río Aconcagua un predominio de las plantas herbáceas con más del 75% de representatividad.

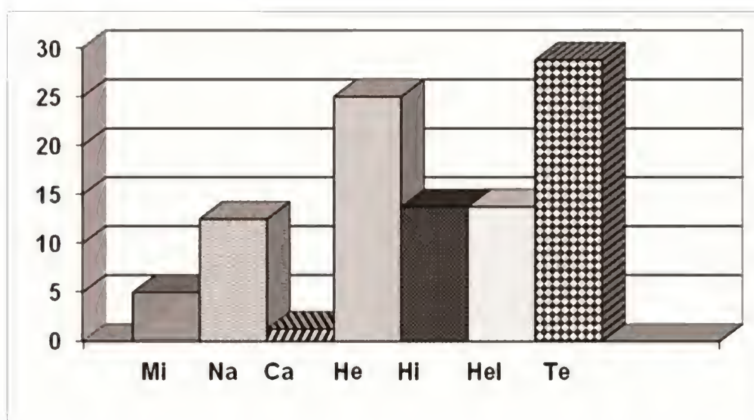


Figura 2. Gráfico de barras que indica el Espectro Biológico del Estero de Viña del Mar

La Tabla 5 muestra una tabla en donde se representa que de las 80 especies presentes, 55 (68,75%) son Advenas (alóctonas) y sólo 25 (31.25%), Nativas (autóctonas), concordando con registros de Palma et al, 1985; San Martín et al, 2003; Arancibia, 2006 para curso de agua de la región. Aunque para las plantas acuáticas y palustres es difícil determinar con exactitud el carácter de autóctono o alóctono, estos resultados indican un alto grado de intervención antrópica en la vegetación, la que seguramente tiene su origen en la naturaleza ruderal del hábitat con plantas Terófitas invasoras que colonizan rápidamente espacios abiertos que en períodos de inundación entregan la humedad necesaria para la germinación de semillas.

Tabla 5. Clasificación de Origen de las especies vegetales

Origen	Nº	%
Nativo	25	31.25
Adventicio	55	68.75

Sin embargo dentro del ámbito nacional se estima que más del 70% de las macrofitas son nativas (Ramírez et al, 2006) (Figura 3)

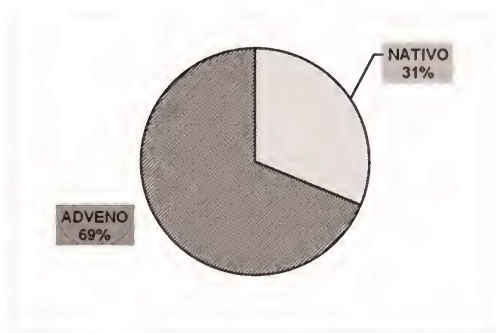


Figura 3. Gráfico que muestra el porcentaje del origen de las especies vegetales, donde se indica un mayor porcentaje de origen Adveno.

La diferencia entre especies Nativas y Advenas en el gráfico es muy notoria y según San Marín et al, 2006 aumentaría si se considera la cobertura de los vegetales.

Claramente se puede observar en la Tabla 6, que en el Tramo Bajo destaca la vegetación ruderal y algunas especies halófitas como *Alternathera philoxeroides*. En el Tramo Medio destacan las plantas palustre y acuáticas como *Typha domingensis* y *Ludwigia peploides* y en el Tramo Alto destacan las formas ruderales y plantas leñosas. El estudio revela además, la existencia de al menos 4 comunidades de plantas: Comunidades Hidrófilas que viven en el agua representadas por los géneros *Equisetum, Azolla, Ludwigia, Lemna, Potamogeton, Hydrocotyle*. Comunidades palustre representadas por *Scirpus, Cyperus, Juncus, Phragmites, Typha.* Comunidades Ruderales representadas por *Galega, Sonchus, Raphanus, Rumex.* Comunidades Higrófilas que crecen a orillas del agua representados por *Tessaria, Baccharis, Otholobium, Rubus, Salix*.

Tabla 6. Presencia, Frecuencia y Frecuencia Relativa de las especies vegetales en los distintos tramos en estudio.

	TRAMO BAJO										***TRAMO MEDIO***										***TRAMO ALTO***											
ESPECIES/PARCELAS	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**f**	**f %**
Equisetum bogotense												*	*																		2	6.6
Azolla filiculoides		*		*	*			*						*		*		*				*					*	*		*	11	36.6
Cheilanthes sp															*																1	3.3
Althernanthera philoxeroides	*	*	*		*	*	*																								6	20
Apium nodiflorum				*			*	*			*	*	*	*		*	*			*	*	*			*						13	43.3
Comium maculatum					*	*				*	*																			*	5	16.6
Foeniculum vulgare								*	*																						2	6.6
Hydrocotyle ranunculoides		*	*		*	*	*						*	*	*				*		*				*	*	*		*		14	46.6
Ageratina glechonophyllum																								*				*	*		3	10
Aster squamatus												*																			1	3.3
Baccharis linearis																											*			*	2	6.6
Baccharis marginalis								*	*			*								*	*					*	*	*		*	9	30
Bidens aurea	*					*																									2	6.6
Chrisanthemum coronarium													*										*	*							3	10
Coniza bonariensis																			*	*											2	6.6
Cotula coronopifolia						*				*	*					*	*	*							*						7	23.3
Anthemis cotula													*	*																	2	6.6
Matricaria chamomilla																	*	*								*	*				4	13.3
Lactuca serriola																			*	*											2	6.6
Senecio adenotrichus								*	*																						2	6.6
Sonchus oleraceus			*	*	*										*									*	*						6	20
Taraxacum officinalis						*	*																								2	6.6
Tessaria absinthioides		*								*																					2	6.6
Xanthium cavallinesi									*	*		*																			3	10

Hirschfeldia incana			*	*															*	*			*	*	*						7	23.3
Rorippa Nasturtium-aquaticum							*	*	*			*	*	*	*	*					*	*					*	*	*	*	14	46.6
Callitriche palustris																*	*	*													3	10
Chenopodium alba		*	*			*	*						*										*				*	*			8	26.6
Chenopodium ambrosioides				*															*												2	6.6
Convolvulus arvensis											*	*																			2	6.6
Cucurbita ficifolia													*																		1	6.6
Ricinos communis	*		*										*							*									*		5	16.6
Fumaria officinalis																									*	*					2	6.6
Erodium cicutarium																								*			*				2	6.6
Elodea potamogeton	*	*										*	*															*	*		6	20
Mentha citrata												*	*		*		*														4	13.3
Mentha piperita														*		*									*						3	10
Mentha pulgium																	*	*	*		*					*	*	*			7	23.3
Lemna gibba	*			*									*		*									*				*	*		7	23.3
Lobelia excelsa																													*		1	3.3
Acacia dealbata				*	*	*													*			*				*	*				7	23.3
Ludwigia peplioides			*	*		*	*				*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*		*		*	*		*		19	63.3
Eschscholzia californica																									*			*	*		3	10
Galega officinalis			*		*	*	*					*	*			*	*	*	*				*	*	*			*	*		15	50
Medicago sativa											*									*											2	6.6
Melilotus indica												*	*																		2	6.6
Otholobium glandulosum														*	*	*								*	*	*	*				7	23.3
Trifolium pratense																											*	*			2	6.6
Trifolium repens																	*	*													2	6.6
Trifolium sp												*	*																		2	6.6
Plantago major					*		*																								2	6.6
Muehlenbeckia hastulata																													*	*	2	6.6
Parietaria debilis																		*	*									*	*	*	5	16.6
Polygonum persicaria			*	*	*	*			*	*					*	*	*	*						*	*	*		*	*		15	50
Rumex crispus		*	*							*	*	*							*	*								*	*		9	30
Potamogeton berteroanus			*	*	*				*				*	*	*							*	*	*				*	*	*	13	43.3
Ranunculus muricatus				*	*							*	*																		4	13.3
Rubus ulmifolius							*	*																	*	*	*				5	16.6
Salix babylonica		*										*				*		*									*	*			6	20
Salix caprea										*		*		*	*	*									*	*					7	23.3
Mimulus glabratrus																			*	*					*	*	*	*			6	20
Stemodia chilensis									*	*	*						*	*													5	16.6
Veronica anagallis aquatica			*	*							*	*	*						*	*			*								8	26.6
Datura stramonium								*	*										*	*	*							*	*	*	8	26.6

Nicotiana glauca																*	*								*	*	*				5	16.6
Solanum ligustrinum										*																					1	3.3
Solanum nigrum								*	*																						2	6.6
Tropaeolum majus					*	*	*						*																		4	13.3
Urtica urens																												*	*		2	6.6
Verbena litoralis				*	*														*		*	*					*				6	6.6
Alisma plantago															*	*	*														3	10
Carex decidua		*	*										*	*																	4	13.3
Cyperus eragrostis																*	*	*	*	*								*	*		7	23.3
Scirpus californicus										*	*	*			*	*	*		*	*											8	26.6
Juncus buffonis										*			*	*									*	*	*	*	*	*			9	30
Juncus dombeyanus												*							*	*											3	10
Agrostis stolonifera										*	*	*									*	*	*	*	*				*	*	10	33.3
Phragmites communis									*						*	*															3	10
Polipogon viridis						*							*																		2	6.6
Typha domingensis											*	*	*	*	*	*	*	*	*												9	30

El estado de conservación de La flora del estero de Viña del Mar presenta algunos problemas, debido al escaso estudio, y a la gran cantidad de especies Advenas que no presentan categorización, sin embargo, es preocupante la situación de las comunidades palustres de *Typha angustifolia* (Totora) y *Scirpus californicus* (Trome) que conforman un ambiente de humedal Palustre formado hace algunos años a la altura del Supermercado Jumbo que se supone resulto de la modificación del cauce por trabajos del troncal sur.

Estos ecosistemas albergan una gran variedad de avifauna, sirven de recreación y turismo, sirven como de retención de nutrientes y sedimentos, controlan la erosión, estabilizan el clima, controlan inundaciones y sirven de amortiguamiento (Muñoz, 2003).

CONCLUSIONES

En el Tramo medio del estero de Viña del Mar se ha formado un humedal de tipo palustre dulceacuícola con una importante riqueza y biodiversidad, que hasta el momento no ha sido estudiada ni valorada, tanto por la población como por las autoridades; lo que hace necesario que se realicen investigaciones científicas, referentes a las características del ecosistema, su biodiversidad, formas de recuperación, restauración o rehabilitación fluvial y técnicas de encauzamiento tanto naturales como ingenieriles, que aporten los conocimientos necesarios para su preservación.

Las plantas acuáticas han sido escasamente estudiadas en nuestro país y en particular en la zona central; éstas, tienden a formar ensambles pobres en especies pero con alta densidad de individuos. Dada su particular forma de vida tienen una gran variabilidad morfológica y pueden crecer y multiplicarse en forma vegetativa por lo que pueden servir como bioindicadores de ambientes acuáticos contaminados.

Es importante notar también la gran cantidad de malezas advenas, principalmente Terófitos, plantas semilleras cuyos propágulos han viajado por el río desde zonas agrícolas del interior o de potreros cercanos. Se hace imprescindible un estudio fitosociológico del sector y un análisis

de la abundancia de las especies y distribución de las comunidades presentes, así como también un estudio del grado de alteración de estos ecosistemas.

AGRADECIMIENTOS

A Jessica Bienzzo y Jennifer Quintana, alumnas de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Valparaíso, que colaboraron en la colecta de información en terreno.

BIBLIOGRAFÍA

ARANCIBIA, J. Flora vascular en la desembocadura del río Aconcagua, 2006. V región, Chile. Anales Mus. Hist. Nat. De Valparaíso, Chile. Págs. 34-46

BENOIT, I. 1989. Libro Rojo de la flora terrestre de Chile. CONAF.1ª Edición. Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile: Pág. 1-151.

CONAMA.2005. Consejo Directivo. Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Racional de los Humedales en Chile. Paginas: 7-27.DI CASTRI, F. y E. HAJEK. 1975. Bioclimatología de Chile. Universidad Católica de Chile, Santiago. 128 pp.

GAJARDO, R. 1994. La vegetación natural de Chile: Clasificación y distribución. Editorial Universitaria.

HAUENSTEIN, E, C. RAMÍREZ, M. GONZÁLEZ, L. LEIVA y C. SAN MARTÍN. 1996. Flora Hidrófila del lago Villarrica y su importancia como elemento indicador de contaminación. Medio Ambiente 13(1): 88 – 96HAUENSTEIN, E., A. MUÑOZ-PEDREROS, F. PEÑA, F. ENCINA y M. GONZÁLEZ. 1999b. Humedales: ecosistemas de alta biodiversidad con problemas de conservación. El Árbol...Nuestro Amigo 13: 8-12.

HOFFMANN J. A, 1995. Flora Silvestre de Chile, Zona Central. 4ª Edición. Editorial Fundación Claudio Gay. Santiago, Chile: Pág. 1-255.

LUEBERT, F. y PLISCOFF, P., Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. 2006. Ed. Universitaria.

MARTICORENA, C. y M. QUEZADA. 1985. Gayana. Catalogo de la flora vascular de Chile. Editorial Universidad de Concepción.

MATTEUCCI, S. y Colma A.1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Serie de Biología. Monografía Nº 22. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Pág. 1-168.

MATTHEI, O. 1995. Manual de las malezas que crecen en Chile. Alfabeta Impresores. Santiago. (i), 545 pp.

MUÑOZ, A. 2003. Guía de los humedales del río Cruces. Cea Ediciones. Valdivia

MUÑOZ-PEDREROS, A. y P. Möller (Eds.). 1997. Conservación de humedales. Bases para la conservación de humedales de Chile. Ediciones del Centro de Estudios Agrarios & Ambientales (CEA). Valdivia, Chile. 95 pp.

NOVOA, R. y S. VILLASECA. 1989. Mapa agroclimático de Chile. INIA, Santiago. 221 pp.

PALMA, B, C. SAN MARTÍN, M. ROSALES, L. ZÚÑIGA Y C. RAMÍREZ. 1987. Distribución espacial de la flora y vegetación acuática y palustre del estero Marga - Marga en Chile Central. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, volumen 14. Numero 2:125-132.

RAMIREZ C. y SAN MARTIN, C. Diversidad de macrófitos chilenos. 2006. En Macrófitas y vertebrados de los sistemas hímnicos de Chile. Ed. Universitaria.

RAMÍREZ G. C, SAN MARTÍN P. C, RUBILAR R. H. 2001-2002. Una Propuesta para la Clasificación de los Humedales Chilenos. Revista Geográfica de Valparaíso (32-33):265-271.

REDON, J. Flora y vegetación de la cuenca del estero de Viña del Mar, 2003, V región, Chile. Universidad de Viña del Mar.

SAN MARTÍN, C. RAMÍREZ, C. SAN MARTÍN, M., y VILLASEÑOR, R. 2001. Flora y Vegetación del estero Reñaca (V Región, Chile) Gayana Bot. v.58 n.1 Concepción.

NUEVAS ESPECIES DE AVES REGISTRADAS EN EL HUMEDAL EL YALI, CHILE CENTRAL

NEW BIRDS SPECIES RECORDS IN THE EL YALI WETLAND, CENTRAL CHILE

Yerko A. Vilina [*] Charif Tala [**] Javiera Meza [***]

RESUMEN

En este trabajo presentamos nueva información respecto a la diversidad de aves en el humedal "El Yali", uno de los humedales mediterráneos más diversos en aves acuáticas en Chile. El monitoreo a largo plazo de este humedal, desde Mayo de 1989 a Enero del 2014, registró 133 especies de aves, 85 de las cuales son consideradas como directamente asociadas a la presencia del humedal. Hemos registrado evidencias de reproducción para 33 de las 85 especies de aves acuáticas. 43 especies son residentes, 19 son visitantes y 23 son ocasionales, sin un patrón estacional definido. Describimos y comentamos el registro ocasional del Flamenco Andino *Phoenicoparrus andinus,* el Suirirí bicolor *Dendrocygna bicolor*, el Pidencito *Laterrallus jamaicensis* y del Playero Enano *Calidris minutilla.* Finalmente, discutimos la información obtenida para algunas especies aves acuáticas para las cuales es importante este humedal.

PALABRAS CLAVES

Abundancia, mediterráneo, Ramsar, riqueza, humedales.

ABSTRACT

In this paper we present new information respect to birds' diversity from "El Yali" wetland, one of the Mediterranean wetlands more diverse in aquatic birds in Chile. The long term monitoring of this wetland, from May 1989 to January 2014, recorded 133 birds' species, 85 of which are considered as directly associated to the presence of the wetland. We have breeding records for 33 of this 85 bird species, 43 of which are resident, 19 are visitor and 23 are occasional, without a defined seasonal pattern. We described and comment the occasional record of the Andean Flamingo, *Phoenicoparrus andinus*, Fulvus Whistling-Duck, *Dendrocygna bicolor*, Black Rail, *Laterrallus jamaicensis*, and Least Sandpiper, *Calidris minutilla*. Finally, we discuss the data obtained from other aquatic birds for which this wetland is important.

KEYWORDS

Abundance, Mediterranean, Ramsar, richness, wetlands.

[*] Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Santo Tomás, Calle Ejército 146, Santiago, Chile. E-mail: yvilina@santotomas.cl
[**] División de Recursos Naturales, Ministerio de Medio Ambiente, Santiago, Chile.
[***] Corporación Nacional Forestal, Viña del Mar, Chile.

INTRODUCCIÓN

En la zona mediterránea de Chile (28º a 36º S) existen humedales costeros de tamaño reducido, los cuales sustentan importantes poblaciones de aves acuáticas, características de la zona central de Chile, además forman parte de la cadena de comunicación de las rutas de migración y desplazamiento de aves migratorias provenientes del hemisferio norte y del extremo sur de Sud América. Algunos humedales importantes de esta ecoregión son la desembocadura del río La Ligua, la laguna El Peral, el humedal de Batuco y el Tranque San Rafael, las Salinas de Cahuil, la laguna Torca, la desembocadura del Río Reloca, y los pajonales de Junquillar, entre otros.

Las principales amenazas que afectan a estos humedales son la urbanización, su uso como áreas de turismo no regulado, la contaminación y el drenaje de sus aguas para uso agrícola e industrial, los animales domésticos, particularmente el perro, siendo las aves acuáticas especialmente susceptibles a todos estos factores.

Desde 1989 hemos estado realizando un estudio a largo plazo de las aves que habitan en el humedal El Yali, con el objeto de determinar su diversidad, considerando la riqueza de especies y su abundancia; así como su importancia como hábitat para las aves acuáticas de esta región del país. El estudio de largo plazo ha proporcionado las bases para la conservación de este humedal (Chang *et al*. 1989, Vilina 1994), siendo declarado Reserva Nacional e incorporado en 1996 a la Convención de Humedales de Importancia Internacional (Convención de Ramsar) y como área libre de caza en 1998.

El objetivo principal del estudio de largo plazo es obtener información sobre la composición y estructura de los ensambles de las aves acuáticas de la región mediterránea de Chile. Determinar la riqueza específica y las tendencias de sus abundancias, la existencia de fluctuaciones estacionales e interanuales de sus poblaciones, el estatus de residencia y la ocurrencia de nidificación de las aves acuáticas registradas en el humedal. Lo anterior pretende estimular acciones de conservación para proteger estas aves y sus ambientes. En esta nota complementamos la información proporcionada por Vilina (1994), incorporando registros de nuevas especies para el área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El Humedal Estero El Yali (33° 47' S-71° 23' W), se localiza a 20 km SSE de San Antonio, en la Quinta Región de Chile. Se ubica en la región mediterránea subhúmeda, con veranos secos y cálidos e inviernos lluviosos y fríos. El período lluvioso ocurre generalmente desde Abril a Septiembre (Di Castri y Hajek 1976). La lluvia promedio anual registrada por la estación meteorológica del "Fundo las dos puertas" (33° 34' S - 71° 27' W) para los últimos veinte años, fue de 446 mm, la máxima fue de 852 mm y la mínima fue de 151 mm. La temperatura promedio anual es 13,2 °C.

Este humedal está formado por seis lagunas, además del embalse Los Molles, el estero El Yali y las salinas El Convento. Poco antes de desembocar al mar, el estero forma una laguna costera o albufera. En general se trata de sistemas eutróficos, que son los actualmente característicos de la región costera de Chile central. El humedal posee una gran heterogeneidad ambiental y por lo tanto una gran diversidad de hábitats. En este estudio se

han considerado todos los sistemas acuáticos que forman parte del humedal; no obstante el esfuerzo de muestreo no ha sido el mismo en todos estos años.

Durante los veranos de los años secos, algunos cuerpos de agua se secan, pero permanecen inundados durante los años lluviosos asociados al fenómeno macroregional de El Niño Southern-Oscilation (ENSO).

METODOLOGÍA

Durante los meses de Mayo a Septiembre de 1989 a 1992, se determinó la riqueza específica y la abundancia de aves acuáticas en el humedal El Yali, realizándose censos mensuales en tres ambientes de este humedal, estos sitios fueron la laguna costera formada por la desembocadura del estero El Yali, y las salinas El Convento; hasta Enero de 2014 hemos obtenido 80 censos mensuales simultáneos de estos sitios. Desde Mayo de 1993 a Mayo de 1998, se han realizado censos mensuales en estos tres ambientes y además en la laguna El Rey y en el embalse Los Molles. Para estos cinco sitios hemos realizado 45 censos simultáneos; desde 1998 se han realizado al menos un censo cada estación del año, en todos los cuerpos de agua del humedal. La riqueza de la avifauna fue determinada considerando todas aquellas especies de aves que fueron observadas durante el período de estudio; desde Mayo de 1989 a Diciembre de 2013; dentro del humedal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inicialmente, Vilina (1994) describió la presencia de 115 especies de aves, de las cuales 71 se les consideró directamente asociadas a la existencia del humedal. En este trabajo actualizamos esta información incorporando nuevos registros de especies de aves acuáticas; entre 1989 a Enero de 2014 hemos registrado 133 especies de aves, 85 de ellas se les considera directamente asociadas al humedal (Fig. 1), incluyendo lo señalado por Brito (2001), respecto a la presencia del Salteador Pardo, *Catharacta lonnbergi* a fines de Marzo de 1996, en la desembocadura del estero El Yali.

De estas 85 especies, al menos 33 (39%) se reproducen en el humedal, no obstante para varias de ellas los registros sobre su reproducción han sido ocasionales, por lo que no debe considerarse que su reproducción ocurre todos los años; tal es el caso por ejemplo del Pato Colorado, *Anas cyanoptera*, para el cual sólo tenemos un registro, la Gaviota Cahuil, *Larus maculipennis*, que durante algunos años forma una colonia reproductiva en las islas de la laguna costera o albufera, el Perrito, *Himantopus melanurus*, que ocasionalmente, durante los años lluviosos forma colonias reproductivas en las salinas El Convento, la laguna El Rey y/o en la laguna Costera; y el Chorlo Doble Collar, *Charadrius falklandicus*, que es la única especie migratoria del extremo sur del Continente que ocasionalmente se reproduce en este humedal, generalmente en las salinas El Convento. Algunas de estas especies, aparentemente sólo recientemente han comenzado a reproducirse en el humedal, como ha ocurrido con la Garza Cuca, *Ardea cocoi*, que forma una colonia reproductiva mixta con las otras especies de garzas en los pajonales de la laguna El Rey. Es muy probable que otras especies de aves acuáticas también se reproduzcan en el humedal El Yali, como por ejemplo el Picurio, *Podylimbus podiceps*, el Huairavillo, *Ixobrynchus involucris* y el Pato Jergón Chico, *Anas flavirostris*, entre otras, pero nuestros registros no permiten hacer esta afirmación.

De las 85 especies de aves asociadas a los ambientes acuáticos, 43 son residentes, las cuales pueden ser observadas durante cualquier estación del año, siendo avistadas regularmente en el humedal; 19 especies son visitantes, presentando una presencia estacional, de ellas 12 son

chorlos y playeros que provienen del Hemisferio Norte y se alimentan regularmente en el humedal durante la primavera y verano austral; otras tres provienen del sur del continente y pasan el invierno austral en este sitio, estas son el Chorlo de Doble Collar, el Chorlo Chileno *Charadrius* (*Zonibyx*) *modestus* y el Gaviotín Piquerito, *Sterna trudeaui*. Una especie que también habita en el humedal durante el otoño e invierno, particularmente en las playas arenosas del sector costero, pero que proviene del norte, es la Gaviota Garuma, *Larus modestus*, otras especies que pasan el invierno aquí, que puede provenir de los humedales altoandinos, son el Pato Jergón Chico y el Piuquén. De otras dos especies, el Rayador, *Rhynchops niger* y la Golondrina Chilena, *Tachycineta meyeni*, su origen es difícil establecer, ya que la literatura existente no permite hacer proposiciones fundamentadas respecto a esto. Para las 23 especies registradas ocasionalmente, el patrón es aún más complejo de explicar.

Entre los nuevos registros realizados por los autores queremos destacar el de las siguientes especies:

- Parina Grande, *Phoenicoparrus andinus.* Una Parina grande adulta, fue por primera vez registrada el día 5 de Abril de 2007, a las 11:45hrs de la mañana. Estaba alimentándose junto a 18 flamencos chilenos; *Phoenicopterus chilensis*, en el sector norte de la Laguna Costera (Albufera). Cercano a este grupo de aves habían también 63 Cisnes Coscorobas, *Coscoroba coscoroba* y 21 Cisnes de Cuello Negro. Posteriormente, este mismo individuo fue registrado el día 14 de Abril junto a 16 Flamencos Chilenos; el día 3 de Mayo se observó en la albufera del Yali o laguna costera un ejemplar adulto de la misma especie que se movilizaba en compañía de ocho Flamencos Chilenos. Probablemente este mismo ejemplar fue observado en la laguna El Rey, el día 7 del mismo mes, esta vez alimentándose junto a un grupo de 110 Flamencos Chilenos. Según Araya y Millie (1993) el límite de distribución sur en Chile es la Laguna de Santa Rosa, en el extremo sur del Salar de Maricunga (26º 55'S), a 3.715 m.s.n.m. No obstante, Oyárzo y Correa (1988) habían establecido su presencia regular y con abundancias que superan los 3.000 individuos en la laguna Negro Francisco (27º 26'S). Por el altiplano argentino su distribución llega aún más al sur, hasta laguna Brava (29º 19'S), La Rioja; más al sur de la laguna Negro Francisco en Chile; en donde se ha descrito su reproducción ocasional (Bucher *et al.* 2000). El registro en el humedal El Yali (33° 47'S) hasta ahora sólo debe ser considerado como un registro ocasional, de una especie que tiene una alta capacidad de dispersión.
- Pato Silbón, *Dendrocygna bicolor*, es una especie de la vertiente Atlántica; siendo una de las especies de Anátidas más abundantes en esta región del neotrópico (Blanco *et al.* 1996); el cual según Araya y Millie (1993) es un visitante muy accidental en las Provincias de Cachapoal, Colchagua y Región Metropolitana. Un individuo fue registrado en la desembocadura del río Lluta (18º 24'S) en Marzo de 2000 (Peredo y Miranda 2001), así como dos registros para la laguna Batuco (33º 13'S) el 2005, con un individuo observado en enero y el cuatro en julio de ese año (www.aveschile.cl/ documentos/ boletinobschile/ la_chiricoca_0.pdf). Dado lo anterior, su registro ocasional en la Provincia de San Antonio está dentro de lo esperado. El día 26 de Marzo de 2007 se observó un ejemplar de Pato Silbón, el cual se desplazaba en compañía de Patos Jergones Grandes, *Anas georgica*. El individuo se movió entre del Tranque Los Molles y su laguna de rebalse. Un ejemplar (seguramente el mismo) fue posteriormente observado el día en este mismo sector el día 15 de Abril de 2007.
- Pidencito, *Laterrallus jamaicensis*, según Araya y Millie (1993) se distribuye entre Huasco y Angol; por lo que su registro en esta área está dentro del rango descrito por Araya y Millie (1993). No obstante es una especie de hábitos crípticos, difícil de observar, lo cual podría explicar porque no fue registrada con anterioridad. El día 14 de marzo de 2007, se observaron dos individuos de esta especie los pastizales ribereños del sector norte de la Albufera o laguna Costera del estero Yali. El primero de los individuos se observó al volar desde un pastizal de

aproximadamente 30 a 40 cm de alto ubicado a unos 10 metros de la orilla de la laguna, el segundo voló desde un pastizal más alto (80 cm) ubicado unos 80 a 100 metros al norte de la observación anterior. Las aves no vocalizaron en ningún momento, siendo su observación casual luego de haber sido asustados con el desplazamiento de los observadores. Las aves fueron avistadas en compañía de Luis Espinosa.

- Playero Enano, *Calidris minutilla*, es una especie migratoria del Hemisferio Norte escasamente registrada en el país, con un registro en Octubre de 1948 en Caleta Vitor (18º 45'S), al norte de Arica (Araya y Millie 1993). En el verano de 1999 – 2000, Peredo y Miranda (2001) registraron a ocho individuos en la desembocadura del río Lluta. El día 14 de Marzo de 2007 se observaron dos ejemplares de esta especie en la laguna de rebalse del Tranque Los Molles, las aves fueron avistadas en compañía de Fabrice Schmidt, Rodrigo Barros y Luis Espinosa. Este registro correspondería al más austral por la costa del Pacífico.

El estudio de largo plazo ha permitido describir parcialmente la estructura del ensamble de aves acuáticas que habita en este humedal; permitiendo ampliar la distribución de algunas especies de aves acuáticas que habitan en Chile, como es el caso del Chorlo de Collar, *Charadrius collaris* (Vilina y Drouilly 1990), analizar las tendencias poblacionales de algunos grupos de aves, como los Chorlos neotropicales que migran durante el invierno desde el extremo sur del país a la región mediterránea de Chile central (Vilina y López-Calleja 1996), registrar el inusual arribo a esta región de algunas especies de playeros migratorios del Neártico, como es el caso del Pollito de Mar Tricolor, *Steganopus tricolor*, el cual regularmente se alimenta en los salares altoandinos de la región de la puna y que rara vez llega más al sur (García *et al.* 1996). Cabe destacar que este evento también fue registrado en la región austral por otros investigadores (Von Meyer 1996) y ha continuado ocurriendo esporádicamente en el humedal El Yali, por ejemplo en el verano de 2006 (Vilina, obs. pers.).

El estudio ha también permitido registrar por primer vez que el Pato Gargantillo, *Anas bahamensis*, es una especie residente en el país (Vilina 1995), no siendo una especie migratoria como algunos autores postulaban (Araya y Millie 1993) y que además se reproduce exitosamente en este humedal, el cual parece estar actuando como un centro de dispersión de esta especie hacia otros humedales de esta región ecológica (Rubio 1998).

Algo similar ocurre con el Cisne Coscoroba, *Coscoroba coscoroba*, cuya población ha crecido exponencialmente desde que cinco adultos fueran observados en la laguna costera en1989, con registros de más de 350 individuos en los últimos años (Vilina *et al.*, datos sin publicar), con los primeros registros de nidificación de esta especie en Chile central (Vilina 1994, Brewer y Vilina 2002, Silva-García y Brewer 2007). Con este cisne está ocurriendo algo similar a lo registrado con el Pato Gargantillo, ya que posteriormente los coscorobas han sido registrados ocasionalmente en otros humedales de Chile central, como por ejemplo en la laguna Ventanas (32º 47'S), la laguna El Peral (33º 30'S), el tranque Leyda (33º 37'S), la laguna de Torca (34º 46'S) y el Lago Budi (38º 53'S) (Tala, obs. pers.); con registros de nidificación en la laguna Cartagena (33°31'S) (Nuñez, A., com. pers.), la laguna de Batuco (Rossi, com. pers.) y las salinas de Cahuil (34° 30'S), en donde al menos seis parejas se reprodujeron durante el 2006 (Ricci, com. pers.)

También hemos podido establecer que es un humedal relevante para algunas especies de Anátidas, como para el Pato Rinconero, *Heteronetta atricapilla*, en que las lagunas El Rey y Matanzas, son particularmente de gran relevancia para la conservación ya que en ellas se concentra durante algunos años, esta es una especie ecológicamente singular, por ser la única especie de ave que es parásita de cría y cuyas crías son nidífugas (Cofré *et al.* 2007). Ha permitido realizar un importante aporte al conocimiento de los patrones de distribución y abundancia de algunas especies de aves acuáticas, como es el registro de la presencia y

abundancia del Flamenco Chileno, *Phoenicopterus chilensis* (Vilina 1994, Vilina y Cofré 2006), cuya población visitante del humedal en los últimos años ha llegado a superar los 300 individuos (Ramírez 2014).

La presencia de Cisnes de Cuello Negro anillados en otros humedales mediterráneos de Chile Central, permitió corroborar la existencia de conexión e intercambio de aves entre estos sistemas acuáticos de esta región del país. (Vilina *et al*. 1997).

En este contexto es que los registros obtenidos en los últimos años y resumidos en este trabajo deben ser analizados con cautela, en el sentido que podría deberse a fenómeno ocasionales, sin mayor repercusión ecológica sobre el ensamble de aves acuáticas de la región mediterránea.

AGRADECIMIENTOS

A Pedro Farías, y a los guarda parques de la Corporación Nacional Forestal; a los numerosos colaboradores que han aportado en el trabajo de campo de este proyecto, con especial dedicación de aquellos que aportaron un gran esfuerzo en estos años: Hernán Cofré, María Dolores García, María Victoria López y Eduardo Valenzuela.

BIBLIOGRAFÍA

ARAYA, B. Y MILLIE, G. 1993. Guía de Campo de las Aves de Chile. Quinta Edición. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 405 pp.

BLANCO, D. E., P. MINOTTI. Y P. CANEVARI. 1996. Exploring the value of the neotropical waterbird census as a conservation and wildlife management tool. Wetlands International (unpublished report).

BREWER, G. Y Y. A. VILINA. 2002. Parental care behavior and double-brooding in Cosocorba Swan in Central Chile. Waterbirds 25 (Special Publication 1):278-284.

BRITO, J. L. 2001. *Catharacta lonnbergi* en el Estero El Yali. Boletín Chileno de Ornitología 8:36.

BUCHER, E. H.; J. M. CHIANI Y A. L. ECHEVARRÍA. 2000. Andean flamingos breeding at Laguna Brava, La Rioja, Argentina. Waterbirds 23 (Special Publication 1): 119-120.

CHANG, A.; P. DROUILLY; S. PALMA; M. RODRÍGUEZ Y Y. VILINA. 1989. Prospección de áreas de concentración de fauna entre las I y VII Regiones de Chile. En programa de investigación y desarrollo de zonas áridas y semiáridas. CONAF -PNUD/ FAO-CHI.

COFRÉ L. H.; Y. A. VILINA; J. AGUIRRE; W. EGLI; M. D. GARCÍA; H. KOCKSCH; J. ROTTMANN; H. SEEGER Y C. TALA. 2007. Local Distribution, Abundance and Conservation of Black-Headed Duck in the Mediterranean Wetlands of Chile. Waterbirds 30(3): 412-416.

DI CASTRI, F. Y E. HAJEK. 1976. Bioclimatología de Chile. Pontificia Universidad Católica, Santiago de Chile.

GARCÍA, M D.; H. COFRÉ Y Y. VILINA. 1996. Inusual presencia del pollito de mar tricolor (*Steganopus tricolor*) en la Zona Central de Chile. Boletín Chileno de Ornitología 3: 36 – 37.

OYÁRZO, H. Y H. CORREA. 1988. Comunidad avial asociada a la Laguna del Negro Francisco (II Región, Atacama). En: Parada, M.; J. Rottmann & C. Guerra (Eds.). I Taller Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos. Corporación Nacional Forestal y N. Y. Zoological Society.

PEREDO, R. Y L. MIRANDA. 2001. Nuevos registros para la avifauna del Estuario del Río Lluta (Arica, Región de Tarapacá). Boletín Chileno de Ornitología 8: 2-9.

RAMÍREZ L. 2014. Distribución y abundancia del Flamenco Chileno, *Phoenicopterus chilensis* en el Humedal El Yali. Memoria para optar al título de Médico Veterinario, Universidad Santo Tomás, Santiago, Chile. 78 pp.

RUBIO M. 1998. Nidificación de pato gargantillo (*Anas bahamensis*) en la Región Metropolitana. Boletín Chileno de Ornitología 5: 30-31.

SILVA-GARCÍA C. Y G. BEWER. 2007. Breeding behavior of the Coscoroba Swan (*Coscoroba coscoroba*) in the El Yali wetland, Chile. Ornitología Neotropical 18: 573-585.

VILINA, Y. A. Y P. DROUILLY. 1990. New information about the distribution of the Collared Plover, *Charadrius collaris* in Chile. Wader Study Group Bulletin. 59: 29.
VILINA Y. A. 1994. Apuntes para la conservación del humedal “Estero El Yali”. Boletín Chileno de Ornitología 1, 15-20.
VILINA, Y. A. 1995. Residencia, abundancia y preferencia de hábitat del Pato Gargantillo, *Anas bahamensis* en el humedal “Estero El Yali”, Chile Central. Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso. 23:89-94.VILINA, Y. A. Y M. V. LÓPEZ CALLEJA. 1996. The Neotropical Plovers of "Estero El Yali" in Central Chile. International Wader Studies. 8:85-92.
VILINA Y. A.; M.D. GARCÍA; C. SILVA Y H. COFRÉ. 1997. Presencia de Cisnes de Cuello Negro anillados en el humedal “Estero El Yali”. Boletín Chileno de Ornitología 4, 29-30.
VILINA, Y. A. Y H. COFRÉ. 2006. Aves acuáticas de Chile. Pages 270-277 En: Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos (Saball, P., Arroyo, M. K., Castilla, J. C., Estades, C., Ladrón de Guevara, J. M., Larraín, S., Moreno, C., Rivas, F., Rovira, J., Sánchez, A. & L. Sierralta, Eds.) Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, Chile.
VON MEYER, A. 1996. Observación de *Steganopus tricolor* en Puerto Montt, X Región. Boletín Chileno de Ornitología 3:37-38.

MORTALIDAD DE LA POBLACIÓN DE RANA GRANDE CHILENA, *CALYPTOCEPHALELLA GAYI* (CALYPTOCEPHALELLIDAE), EN LA LAGUNA MATANZAS, DEL HUMEDAL EL YALI, EN CHILE CENTRAL.

Paz L. Acuña-O[*], Claudia Ma. Vélez-R[**], Cyntia E. Mizobe[***], Carlos Bustos-López[****], Manuel Contreras-López[*****]

RESUMEN

Se presenta información sobre mortalidad de ejemplares adultos reproductores de la rana grande chilena (*Calyptocephalella gayi*), en la laguna Matanzas, humedal el Yali, Región de Valparaíso, sitio Ramsar N° 878, de alta importancia ecológica por la diversidad que sustenta. Se realiza inspección visual, toma de muestras de laboratorio, necropsia, identificación y morfometría de los individuos encontrados. El hábitat hidrófilo que permite la reproducción de la especie se encuentra totalmente seco, rodeado de pastizales, aledaño a zonas asociadas a cultivos agrícolas y actividad ganadera. El nivel del agua de la laguna ha disminuido en un 50%, por efecto climático y el desvío para acopio del efluente aguas arriba del estero Las Rosas que abastece el humedal. Se determinan como causa de muerte el cambio brusco de las condiciones físicas del ambiente asociada a la pérdida de agua por el cambio climático, junto con las actividades de producción antropogénicas, que son incompatibles con las características fisiológicas de este grupo de vertebrados, dependientes en un 100% de la fuente hídrica.

PALABRAS CLAVES/ Sitio Ramsar, humedal, cambio climático, conservación, mortalidad rana grande chilena.

ABSTRACT

It is presented a mortality event of the adult population of the Big Chilean Frog, *Calyptocephalella gayi*, at the Matanzas Lagoon, in the Yali Wetland, V Region of Chile, a Ramsar site, important for its high ecological diversity. There were performed visual inspections, species identification, laboratory necropsy and a morphometric analysis of the individuals found. The hydrophilic habitat that allows the reproduction of the species is completely dry, surrounded by pastures, and adjacent to agricultural crops and livestock areas. The 50% of the water level of the Lagoon has decreased by climatic change effect and the canalization of the upstream effluent of the "Las Rosas" creek that supplied in the recent past the Wetland. It is proposed that the probable death cause of the adult frogs was the abrupt change of the physical conditions associated with water loss by climatic change, combined with anthropogenic production activities, inconsistent with the physiological characteristics of this group of vertebrates, dependent in a 100% of the hydric source.

KEY-WORDS/ Ramsar Site, wetland, Climate Change, conservation, Big Chilean Frog mortality.

[*] Médico Veterinario, Académico Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás, Santiago. e-Mail: alicauco@gmail.com

[**] Biólogo (Ph.D), Académico Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás, Santiago. e-Mail: cvelez@santotomas.cl

[***] Bioquímico en Actividades Pesqueras. Departamento de Áreas Silvestres Protegidas, Corporación Nacional Forestal, Región de Valparaíso. e-Mail: biocyntia@gmail.com

[****] Estadístico (Mg), Académico Facultad de Ciencias, Universidad de Santo Tomás, Santiago. e-Mail: cbustoslopez@santotomas.cl

[*****] Ingeniero (MsC), Académico Facultad de Ingeniería e Investigador Centro de Estudios Avanzados, Universidad de Playa Ancha. e-Mail: manuel.contreras@upla.cl

INTRODUCCIÓN

El territorio chileno acoge una gran diversidad biológica caracterizada por su alto endemismo, concentrado en la Zona Central la que es considerada un *Hot-Spot* de importancia mundial (Arroyo*et al.*, 2006). Esta situación es bastante notoria en el grupo de vertebrados del orden Anura, Clase Amphibia (Ortiz y Heatwole, 2010; Vidal y Díaz-Páez, 2012), por los requerimientos específicos de un ambiente acuático (bastante discontinuo en la zona centro – norte del país), y poca movilidad que los caracteriza.

Los anfibios son considerados indicadores de salud de los ecosistemas y vigías del ambiente porque son los primeros vertebrados que se ven afectados al ocurrir una alteración de este. Desde mediados de los años 90 se levantó una alerta por la disminución de las poblaciones de anfibios a nivel mundial, tanto por los efectos del cambio climático contemporáneo, como por las presiones antropogénicas sobre los ambientes que los sustentan fenómeno que ha seguido en aumento (Soto-Azat y Valenzuela-Sánchez, 2012).

Una de las características especiales de este grupo de vertebrados y que los hace más vulnerables es poseer una piel extremadamente vascularizada, adaptada para realizar intercambio gaseoso, hídrico e iónico, y así mantener la homeostasis (Wright y Whitaker, 2001). Es así como cada etapa del desarrollo de los anfibios mantiene una estrecha relación con el ambiente acuático, ya sean pozos de agua, lagunas, humedales, ríos o riachuelos, por mencionar solo algunos.

Los humedales son áreas geográficas inundadas y frágiles, constituyen ecosistemas altamente productivos donde se concentra la biodiversidad y en los que el agua es el principal factor que controla la vida en todas sus formas. Internacionalmente los humedales son reconocidos a través de la Convención de Ramsar (convención relativa a los humedales de importancia internacional) y que en la actualidad considera doce sitios a lo largo de Chile, totalizando 358.990 ha de áreas protegidas (RAMSAR, 2014).

La laguna Matanzas (33°45,8'S; 71°40,7'W) se encuentra en la Reserva Nacional El Yali (Fig. 1), sitio Ramsar N° 878 que protege poco más de 500 ha. Es un cuerpo de agua léntico permanente con un espejo de agua histórico que alcanza las 190 ha y profundidades inferiores a 3 m.



Figura 1: Localización del sistema de humedales El Yali en Chile Central. Se destacan los emplazamientos de la laguna Matanzas y su tributario, el estero Las Rosas.

La laguna Matanzas, al igual que el resto de los humedales en Chile Central, se encuentra bajo una fuerte presión antrópica con terrenos que han tenido un cambio en el uso del suelo, declarándolos óptimos para realizar actividades productivas y silvo - agropecuarias, las que alteran el ecosistema en general, contaminando el agua, el suelo y el aire. Se suma a lo anterior la caza de especies endémicas como la rana grande chilena, a pesar de su prohibición, y la introducción de especies exóticas, como la rana africana y la tortuga de orejas rojas (Simeone, 2012; Tala *et al.*, 2013). A esto se adiciona los efectos del cambio climático actual, expresada por una persistente sequía que ha afectado el área en los últimos años. Todos estos factores combinados han provocado un proceso de desecación que han estado sufriendo los diversos cuerpos de agua que componen el sistema de humedales El Yali.

Durante el año 2013 y comienzos del 2014, en el marco del proyecto "Restauración Ecológica como medida de adaptación al cambio climático" financiado por la agencia de Parques de Canadá, se realizaron varias actividades de terreno en el área de estudio, en las cuales se pudo constatar de manera recurrente la aparición de cadáveres de anfibios de gran tamaño, que parecían corresponder a *Calyptocephalella gayi* (Duméril y Bibron, 1841). De esta forma se encontraron de manera accidental 177 cadáveres, algunos informados por Meza *et al.*(2013). La mayoría fueron encontrados en el sector Este de la ribera de la laguna Matanzas y en las inmediaciones del estero Las Rosas.

Para responder a la inquietud de funcionarios del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) de la Región de Valparaíso, se organizó la campaña reportada en este trabajo. Se consigna además que durante los meses de febrero a mayo del 2014, se siguieron encontrando más cadáveres (contabilizando 41 más, no incluidos en este estudio).

El trabajo en terreno realizado tuvo como objetivo identificar la especie de anuro, caracterizar su morfometría y determinar las causas de la mortalidad de la población afectada, en la laguna Matanzas,humedal El Yali. Estos hallazgos muestran el efecto de los cambios físicos bruscos del ambiente sobre la población de rana grande chilena, un recurso endémico y monotípico, de gran antigüedad, y catalogada como Vulnerable (Mujica, 2006; Vélez-R*et al.*, 2014).

ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

La rana grande chilena *Calyptocephalella gayi* es conocida por su gran tamaño, si se compara con otros anuros chilenos (alcanzando más de 1.000 gramos de peso vivo y 25 cm longitud rostro-cloaca), además de ser un representante de la fauna anura más antigua de la región y la primera en ser descrita para Chile (Vélez-R*et al.*, 2014, *op. cit*). La especie ha estado sometida a una fuerte presión de caza, por ser parte de la dieta de los pueblos originarios, costumbre que se ha mantenido como parte de la tradición local. A pesar de tener un rango de distribución amplio se cataloga como de hábitat especialista (Ortiz y Heatwole, 2010), asociado a cursos de agua lénticos, ambientes naturales que se encuentran en franco retroceso en Chile Central.

La fauna anura chilena destaca por su alto porcentaje de endemismo, el que alcanza un 70% aproximadamente, como resultado de las condiciones especiales de aislamiento biogeográfico, relieve y clima. Se contabilizan en el presente, alrededor de 63 especies nativas (Tala, 2012; Vélez-R y Acuña-O, 2014 y Vélez-R, 2014), con un origen andino patagónico (Formas, 1979) y en donde destacan varios géneros monotípicos como *Calyptocephalella*, con *Calyptocephalella gayi*como único representante (Figura 2).



Figura 2: Hembra adulta de la rana grande chilena, *Calyptocephalella gayi*. Fotografía: Y. Ortega (2014).

Las poblaciones de *Calyptocephalella gayi* se distribuyen desde el Río Elqui (29°S) hasta Puerto Montt (49°S) y desde 0 a 1.200 m sobre el nivel del mar (Vélez-R*et al.*, 2014, *op. cit*; Garín y Hussein, 2013). Diversos factores las están afectando en general, como la disminución, pérdida, alteración y/o contaminación de los ambientes acuáticos lénticos (humedales, lagunas, charcos, arroyos), fenómeno frecuente en el país por la extracción primaria de recursos (minería), el aumento de las zonas de cultivos y el cambio de uso de suelo, lo que es altamente preocupante si se considera que los individuos de esta especie cumplen todo su ciclo de vida en este hábitat.

Calyptocephalella gayi comparte su hábitat con especies exóticas-introducidas, quienes poseen una alta capacidad colonizadora, como son la rana africana (*Xenopus laevis* (Daudin, 1982), y la tortuga de orejas rojas (*Trachemys scripta elegans* (Wied-Neuwied, 1839), por mencionar solo algunas, sin que se tenga conocimiento sobre el efecto de esta interacción. También deben mencionarse las enfermedades emergentes como las causantes de disminución o extinción de poblaciones de anfibios a nivel global, con muy pocos estudios a nivel local, señalándose solo la presencia de animales afectados por bacterias patógenas como *Mycobacterium* sp. en una población de la Región del Biobío y *Citrobacterfreundii* en una población criada en cautiverio en la Región Metropolitana (Barría, 2010; López-S*et al.*, 2014).

Las poblaciones de *C. gayi* han sido clasificadas en estado Vulnerable, en la mayoría de estudios que abordan el tema (Glade, 1988; Formas, 1995; Tala, 2012; IUCN, 2013). Adicionalmente, está incluida en el apéndice III de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, desde el 2011 (CITES, 2011).

Los hábitats asociados a las regiones con menos pluviosidad en Chile, en donde se encuentra la especie, como son desde la Región de Valparaíso hasta la de Coquimbo, están siendo fuertemente afectadas, no solo por los prolongados periodos de sequía, sino por el aumento de áreas dedicadas a cultivos de exportación como uvas, paltas, frutales, entre otros. Adicionado a la fuerte presión inmobiliaria que se ve beneficiada con el cambio de uso del suelo.

La laguna Matanzas tiene un origen singular, pasando de ser un cuerpo costero a una laguna interior elevada 8 metros sobre el nivel medio del mar actual (Meza *et al.*,2013), debido a la actividad tectónica en los alrededores de la formación Navidad (Encinas *et al.*, 2006). Esto explica la salinidad de la laguna, lo que junto a un elevado pH (mayor a 8,0) y la presencia de diversos iones la convierte en un cuerpo de agua con una elevada complejidad físico químico (Figueroa *et al.*, 2009, Vidal - Abarca *et al.*, 2011) que facilitaba cualidades de autodepuración y

resiliencia (Meza *et al.*, 2013, *op. cit*; UPLA, 2013). La laguna ha reducido su espejo de agua desde 190 a menos de 100 ha (abril de 2007 a febrero de 2014), presentándose las disminuciones más severas a partir del año 2013 (Figura 3).



Figura 3: Variaciones del espejo de agua de la laguna Matanzas, humedal El Yali, desde abril de 2007 a febrero de 2014.

METODOLOGÍA

El 9 de enero de 2014 se realizó una inspección visual sobre el estero las Rosas y la laguna Matanzas, que consistió en un recorrido de 6 horas de duración bajo la luz del día (11:00 A.M. a 17:00 P.M.) abarcando 7 estaciones de recorrido georreferenciado. Esta inspección se inició en una bocatoma emplazada en las coordenadas geográficas (33°46,0'S; 71°38,0'W) en el estero Las Rosas, unos tres km antes de su desembocadura en la laguna Matanzas (Estación 1 identificada en la Fig. 4). En este lugar se utilizaron redes (chinguillos de tamizado fino) y se examinó manualmente la vegetación hidrófila, para detectar la presencia de anfibios en cualquier estado de desarrollo. Posteriormente se continuó el recorrido unos 300 metros lineales en contra del caudal del estero, desde la Estación 2 (33°45,9'S; 71°38,4°W) hasta la Estación 3 (33°46,0'S; 71°38,2'W), en este sector se volvieron a utilizar redes. Por último, el recorrido se reinició en la Estación 4 (33°45,9'S; 71°39,7'W) siguiendo el estero en el sentido de su corriente por unos 700 metros hasta llegar a la desembocadura en la laguna Matanzas, que se individualiza como Estación 5 (33°45,9'S; 71°40,0'W). En el sector de la desembocadura se prosiguió con un recorrido sistemático barriendo toda la ribera este de la laguna, descubierta por la contracción del espejo de agua. Este barrido se realizó en dos direcciones: desde la desembocadura hacia el Norte hasta la Estación 6 (33°45,7'S; 71°40,0'W) y desde la desembocadura hacia el Sur hasta la Estación 7 (33°46,0'S; 71°40,2'W).



Figura 4. Estaciones correspondientes a la inspección visual del 9 de enero de 2014 en el estero Las Rosas y la ribera de la laguna Matanzas, humedal El Yali.

En el barrido realizado en el sector definido por las Estaciones 5, 6 y 7, se identificaron las especies de anfibios encontrados, se georreferenciaron, fotografiaron y colectaron los animales muertos para su posterior medición (con permiso de captura científica emitida por el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG No. 1063/2014).

En dependencias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Playa Ancha, se tomaron las siguientes medidas morfométricas con pie de metro y balanza digital: longitud rostro - cloaca (cm), longitud de la tibia (cm), ancho de la cabeza (cm) y el peso (g). Se realizó necropsia sólo a un ejemplar que se encontraba en estado más fresco en el laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Santo Tomás y se conservó material genético, para posteriores estudios. Se realizaron comparaciones morfométricas, mediante estadística descriptiva, de los cadáveres encontrados en la laguna Matanzas (se utilizó solo la longitud rostro-cloacal como medida de comparación, en los cadáveres con cuerpo completo) y los ejemplares reproductores existentes en el Centro de Reproducción de la rana grande chilena de la Universidad Santo Tomás (Resolución del Servicio Agrícola Ganadero No. 331/2010).

Personal del Servicio Agrícola y Ganadero tomó muestras de agua y sedimento en las estaciones 1, 2, 3 y 4 del estero para realizar análisis de laboratorio ecotoxicológicos, por contaminación con pesticidas, en el Laboratorio Química Ambiental y Alimentaria de la misma institución.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A 3 km aguas arriba del tramo inspeccionado del estero Las Rosas desde su desembocadura (Estación 1), el caudal se estima en 10 l/s, acompañado con vegetación introducida (*Galega officinalis L.*y *Azolla* sp., entre otras). En esta zona no se visualizaron renacuajos de anfibios, pero se escucharon dos machos reproductores de *Calyptocephalella gayi* cantando, lo que indica que la especie se encontraba en época de cortejo (por el canto de los machos) y por consiguiente de reproducción (Penna y Díaz – Páez, 2008). La rana chilena posee una conducta reproductiva estacional, presentándose desoves en la época del año que tiene un fotoperiodo positivo, en la zona Centro - Sur de Chile, entre agosto y febrero, (Hermosilla y Acuña 2004; Acuña-O. y Vélez-R, 2014).

En las Estaciones 2 y 3, el estero se encontró intervenido. Se observó remoción de vegetación ribereña y nativa realizada por maquinaria pesada. El caudal del estero disminuyó a medida que se acercaba a la ribera de la laguna Matanzas, el que pasa por un canal de aproximadamente 1,5 metros de ancho por donde corre solo un pequeño caudal de agua. En el trayecto desde la estación 2 a la 3, se identificaron cinco ejemplares de anfibios correspondientes a sapito de cuatro ojos (*Pleuroderma thaul (*Schneider, 1799) y un ejemplar muerto de rana africana (*Xenopus laevis (*Daudin, 1802).

En la estación 4 no se apreció vegetación nativa y la laguna Matanzas se encuentra en la actualidad aledaña a un terreno recién arado; el que posee un tranque, que por su tamaño, acopia agua presumiblemente del estero Las Rosas, construido en la primera mitad del siglo XX y que probablemente se utiliza como reserva de agua para fines agrícolas. La vegetación palustre (juncáceas) se encuentra seca, en medio de un pastizal, zona que probablemente era el hábitat ocupado por los reproductores (Figura 5). La rana chilena coloca los huevos en zonas donde hay vegetación hidrófila, ya que la gelatina de los huevos se adhiere a ellas para facilitar la flotabilidad de los embriones, y los renacuajos utilizan el hábitat propenso para el desarrollo de microflora y microfauna de importancia para la alimentación (Acuña-O y Vélez-R, 2014, *op. cit*), ambiente inexistente en esta zona de la laguna, en la actualidad.

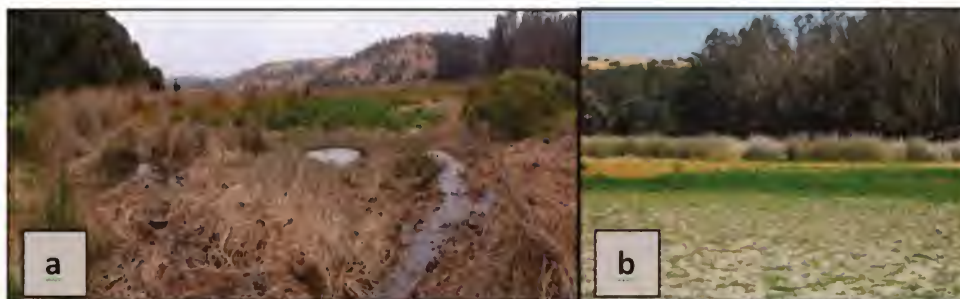


Figura 5. a) Vegetación palustre destruida en las inmediaciones de la desembocadura del estero Las Rosas. Fotografía: C. Mizobe (2014). b) Ribera de la laguna Matanzas, humedal El Yali.Fotografía: C. Vélez-R. (2014).

En la Estación 5 se pudo constatar los efectos de la disminución del espejo de agua de la laguna, quedando al menos doce hectáreas expuestas del fondo de la laguna, correspondientes a unos 150 metros lineales aproximados de retroceso, el cual se presentaba seco y con grietas dejadas por la pérdida de agua, y por la alta radiación solar junto a la baja humedad propios del verano (Figura 6).



Figura 6. Álveo descubierto de la laguna Matanzas en las inmediaciones de la desembocadura del estero Las Rosas. El retroceso del espejo de agua se debe al severo proceso de desecación reciente que experimenta este cuerpo de agua protegido. Fotografía: C. Mizobe (2014).

Sobre este sustrato yacían 36 ejemplares adultos muertos de *C. gayi* (Figura 7) todos eviscerados, probablemente consumidos por depredadores tales como aves y roedores. La piel se encontraba dura y adherida a los huesos. Algunos individuos solo presentaban la cabeza sin ojos y otros sólo las extremidades (dañados por predadores carroñeros).



Figura 7. Ejemplares adultos de *Calyptocephalella gayi* encontrados en sustrato seco, de borde de la laguna Matanzas.Fotografías: izquierda C. Vélez-R. (2014) y derecha C. Mizobe (2014).

La mayoría de los cadáveres (26) estaban distribuidos irregularmente en un área de 1,5 ha, separados unos de otros entre 15 a 20 m aproximados (figura 8). Sólo uno de los cadáveres se encontró aislado a unos 170 metros al oeste del grupo principal. También se encontró junto a los cadáveres restos disecados de pequeños peces. Estos hallazgos muestran que estos animales estuvieron expuestos a un cambio brusco del ambiente físico, incompatible con la vida de la fauna anfibia e íctica en horario de altas temperaturas (la estación instalada en la Administración de la reserva registró temperaturas máximas de 27,4°C el 31 de diciembre de 2013 a las 15:00) y que no les permitió alcanzar la columna de agua de la laguna Matanzas para sobrevivir, unido a la ausencia de vegetación acuática que les pudiera servir como refugio.

Los anfibios para disminuir su temperatura corporal, pierden aguapor evaporación, a través de la piel, por eso exhiben una zona ventral vascularizada, especializada para la absorción de agua y mantener la regulación hídrica conocida como "*drinkingpatch*", la que está en contacto directo con el sustrato, pudiendo absorber hasta un 80% del agua que requiere (Boutilier*et al.*, 1977). La hipertermia conlleva a la alteración del sistema locomotor, cardiovascular y nervioso de los anfibios (Gans y De Gueldre, 1992; West y Van Vliet, 1992). Los anfibios acuáticos presentan una fase de excitación con exceso de *mucus* sobre la piel, cuando están expuestos a altas temperaturas, seguido de movimientos involuntarios y aletargamiento (Wright, 2001). Por consiguiente, y tal como muestra la Fig. 6, la aridez del sustrato y alta radiación solar del clima estacional,probablemente desencadenaron la rápida deshidratación de las ranas, que explicaría la piel seca y dura de las individuos, que no habrían alcanzado a desplazarse hasta la columna de agua, ni a encontrar refugio en algún tipo de vegetación hidrófila.

La distribución espacial de las ranas muestra el comportamiento no gregario en el medio silvestre, ya que los cadáveres estaban esparcidos por toda el área seca de la laguna (separadas unas de otras por 15 a 20 m aproximadamente). Es posible que esta distribución se deba a la dimensión espacial del nicho ecológico necesario para los requerimientos en estado silvestre de la especie, en estadio adulto.

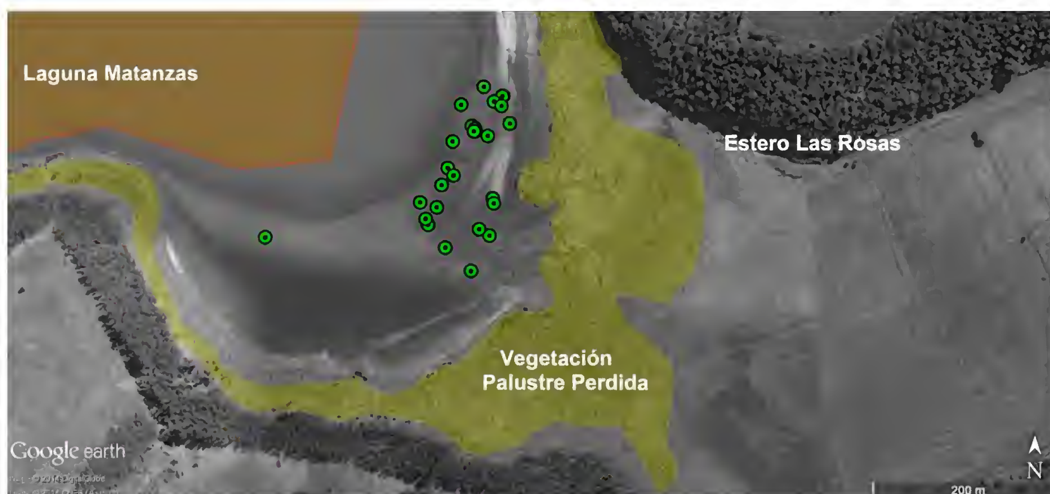


Figura 8. Localización de los cadáveres de rana grande chilena encontrados en las inmediaciones de la ribera este de la laguna Matanzas (círculos). Se destaca el espejo de agua de la laguna en febrero de 2014 y la vegetación palustre perdida recientemente.

Se realizó necropsia a un ejemplar que se encontraba en menor grado de descomposición (17,0 cm de longitud rostro – cloacal), el que poseía ovarios con óvulos de color negro, en proceso vitelogénico activo (Segovia, 2010), demostrando que el ejemplar estaba en estado grávido. No presentaba los órganos correspondientes al sistema digestivo (consumidos probablemente por predadores).

Los análisis realizados por el Laboratorio de ecotoxicología del Servicio Agrícola y Ganadero SAG, para muestras de agua y sedimento del estero Las Rosas, arrojaron resultados negativos para los diversos contaminantes químicos que se buscaban, como pesticidas, descartándose la mortalidad de las ranas por esta causa hasta el momento.

La longitud rostro - cloacalpromedio de los esqueletos completos de los 24 ejemplares, de *C. gayi*encontrados fue de 15,46 cm, (19,90 cm de longitud máxima, 11,62 cm de longitud mínima, y 1,55 de desviación estándar).

La Tabla 1 muestra los datos morfométricos de los ejemplares reproductores presentes en el Centro de Reproducción de la Universidad Santo Tomás (Catemito), con ejemplares provenientes de criaderos de las Región Centro – Sur del país.

La longitud rostro cloacal de los ejemplares de la laguna Matanzas y de Catemito (Figura 9), no presentan diferencias estadística significativas (P > 0,326), lo que permite establecer que los ejemplares muertos corresponden a reproductores, apreciándose una mayor frecuencia de ejemplares de mayor talla en la laguna Matanzas.

Tabla 1. Resumen de datos morfométricos (peso y talla) de ejemplares reproductores de *Calyptocephalella gayi*, presentes en el Centro de Reproducción de la Universidad Santo Tomás.

	Peso (g)			Talla (cm)		
	Sexo			Sexo		
Estadígrafo	Hembra	Macho	Total	Hembra	Macho	Total
Media	476,1	302,7	422,3	15,6	13,6	15,0
DE	166,5	68,9	163,8	1,7	1,2	1,8
V. Mínimo	291,0	228,0	228,0	13,7	11,5	11,5
V. Máximo	952,0	455,0	952,0	19,5	15,5	19,5
N	20	9	29	20	9	29

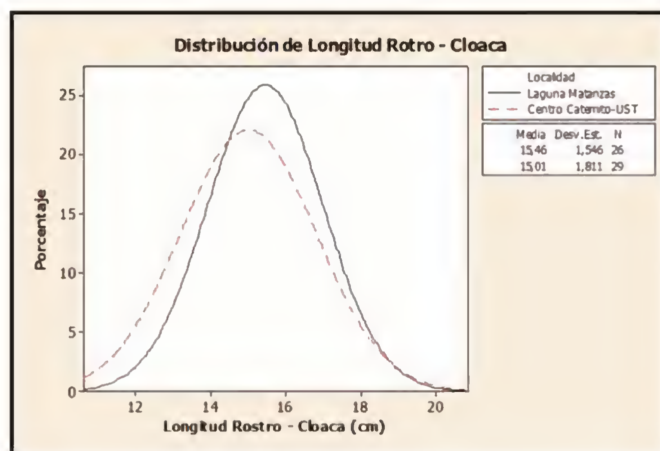


Figura 9. Gráfico que muestra la distribución de tallas de ejemplares reproductores de la Unidad de Reproducción de la rana grande Chilena en la sede de Catemito, UST y la de los ejemplares muertos de la laguna Matanzas.

No se encontraron ejemplares con tallas correspondientes a juveniles, tampoco se observaron larvas, quizás por haber sido predados por otros vertebrados, dentro de la cadena trófica (aves, mamíferos) o por fragilidad del tejido y desecación (las larvas no poseen esqueleto óseo sino cartilaginoso que pueda ser preservado en condiciones adversas).

Estudios realizados en el Centro de Reproducción de la Rana Grande Chilena de la Universidad Santo Tomás establecieron que el inicio de la madurez sexual ocurre cuando los animales se encuentran en un buen estado de salud y tienen al menos 8,0 cm de longitud rostro - cloaca en ambos sexos, tallas que en cautiverio pueden alcanzarse a partir de un año, (en algunos pocos ejemplares) mientras que para otras puede tardar más de tres años (Acuña-O y Vélez-R, 2014), a pesar de que se mantengan los rangos de temperatura, fotoperiodo y alimentación óptimos.

El crecimiento en la rana chilena estádirectamente relacionado con la temperatura del hábitat, por ser ectotermos, como también a la fase de desarrollo de los individuos. Los antecedentes obtenidos en cautiverio, con un rango de temperatura relativamente estable del agua, entre 15°C - 20°C, durante tres meses, y dietas diarias con un 60% de proteína, mostraron un aumento de la longitud entre 1 - 2 cm para animales entre los 67 - 130 g y tallas entre 8 - 9 cm longitud rostro - cloaca (Riveros, 2010; Rojas, 2010). Diferente a lo que puede ocurrir en el medio silvestre, ya que las fluctuaciones de temperatura (diaria y estacional) restringe los periodos de actividad metabólica de la especie solo a época primavera-verano, pasando por un proceso de hibernación o estivación cuando las condiciones abióticas son extremas, donde disminuye su metabolismo y por consiguiente su crecimiento (Hermosilla y Acuña, 2004). Los ejemplares de la rana chilena después de alcanzar las tallas que marcan el inicio de la madurez sexual, disminuyen la tasa de crecimiento, debido a que la energía es focalizada en la producción de gametos. Por lo tanto se puede indicar que los cadáveres encontrados corresponden a ejemplares reproductores, con un periodo de vida largo (aproximado 10 años o más).

ANTECEDENTES FISIOLÓGICOS RELEVANTES PARA DETERMINAR LAS CAUSAS DE LA MORTALIDAD

Todos los anfibios son extremadamente sensibles a los cambios de las condiciones ambientales y esto se debe a dos características fundamentales, por un lado, son organismos ectotermos con una actividad fisiológica dependiente de la temperatura ambiental (Garín y Lobos, 2008; Valenzuela-Sánchez, 2012), y por otro lado, poseen una piel desnuda altamente vascularizada, que posee gran cantidad de glándulas productoras de *mucus*, para mantener la piel húmeda y glándulas granulares que secretan sustancias con principios activos antimicrobianos y antifúngicos (Barría, 2010). En *Calyptocephalella gayi*, no hay presencia de glándulas lipídicas que secreten lípidos que las haga resistentes a la pérdida de agua, como se ha encontrado en algunas especies de arbóreas como *Phyllomedusasauvagii* (Boulenger, 1882), *Chiromantis* (Peters, 1854), *Hyperolius* (Rapp, 1842), o *Litoria* (Tschudi, 1838), (Wright y Whitaker, 2001) que las hacen más resistentes a la escases de agua.

Los anfibios, en todas las etapas del ciclo biológico (larvas o post metamórficos), realizan procesos de intercambio gaseoso (respiración) e iónico a través de la piel, en especial de iones de Ca^{++}, Na^{+}, Cl^{-} y de moléculas tales como O_2, CO_2 , H_2O y HCO_3 (Bicarbonato) participando activamente en el balance hidromineral (McWilliams, 2008). Es así que a través de la piel ocurren los procesos de regulación hídrica, como absorción o eliminación de agua en el ambiente, destacándose que el agua no ingresa a los fluidos internos por la cavidad oral, como en otros vertebrados, y que sólo pequeñas cantidades pueden ser absorbidas a través del tracto gastrointestinal, además de que la reabsorción de agua por el riñón es escasa. En general excretan un orina bastante diluida, por la alta capacidad de reabsorber electrolitos que poseen los conductos tubulares del riñón, de esta manera los anfibios tienen una alta habilidad para tolerar una alta fluctuación en la osmolaridad del plasma(Salibian,1977; Wright y Whitaker, 2001). Por otra parte, así como ingresa el agua por la piel, también los niveles de pérdida de agua por evaporación son más altos en los anfibios que en otros vertebrados terrestres (Labra *et al.*, 2008; Wright y Whitaker, 2001, *op. cit*). Los anfibios pueden realizar intercambio de calor, aumentando su temperatura por exposición directa o reflexión del rayo luminoso, por conducción térmica con el sustrato y convección térmica con el ambiente (Garín y Lobos, 2008). Para perder o bajar su temperatura corporal (época primavera-verano en la zona Centro-Sur), pierden agua corporal por evaporación, a través de la piel, por lo que pueden fácilmente deshidratarse con una alta temperatura y radiación solar, bajo nivel de precipitaciones y disminución de la humedad del sustrato y del aire, lo que hace frecuente que

limiten su actividad a periodos de elevada humedad, durante o después de una lluvia o en la noche.

Por otra parte, los anfibios realizan la regulación térmica e hídrica mediante la selección del micro-hábitat, trasladándose a zonas en donde encuentren un rango óptimo de estas variables para cumplir con todas sus funcionas metabólicas. Esto implica el tener que desplazarse continuamente, a pesar de que se mencione que tienen una capacidad reducida de movimiento (Valenzuela y Sánchez, 2012), y como lo ha mostrado Rottmann (2012), quien los ha encontrado en ambientes modificados, como canales y tranques de regadío, en donde hay presencia de agua.

Si bien no se conoce el promedio ni los rangos de temperatura en los cuales la rana chilena exprese el máximo de bienestar animal, como tampoco aquellos límites en los cuales experimenten condiciones no aptas para la vida (Hermosilla y Acuña, 2004), experiencias de manejo en el Centro de Reproducción de la Rana Chilena, de la Universidad Santo Tomás, muestran que temperaturas permanentes del agua, sobre los 25 °C, en el día aumentan las mortalidades en ranas post-metamórficas. Por otra parte, estudios realizados por Rojas (2010) y Riveros (2010), mostraron resultados eficaces en el consumo de alimento y conversión alimentaria para la etapa post metamórfica con 15°C – 20°C del agua, mientras que Hermosilla y Coloma (1985), mostraron que juveniles mantenidos en laboratorio con temperaturas entre 18°C– 20°C tuvieron un crecimiento rápido. Por su parte, los eventos reproductivos exitosos se han manifestado con temperatura promedio del agua de 19,3ºC, en la Región Metropolitana (Acuña-O y Vélez-R, 2014).

La radiación solar, afecta de manera positiva y/o negativamente a los anfibios. Por una parte, junto con otorgar calor, los rayos UVB (285 nm - 320 nm) inciden en la síntesis de vitamina D3, determinante para el metabolismo del Calcio. Hoy la disminución de la capa de Ozono ha conllevado al aumento de las radiaciones UVA, UVB y UVC lo que acarrea desde malformaciones hasta alteración del sistema inmune de los anfibios, además de cambio en el comportamiento del animal (Wright y Whitaker, 2001).

Calyptocephalella gayi presenta alta prolificidad alcanzando 16.000 huevos/postura para hembras adultas provenientes del medio silvestre (Hermosilla *et al.*, 1986). Los registros de renacuajos vivos, por postura, obtenidos en cautiverio sobrepasan los 1.000 individuos (Acuña-O y Vélez-R, 2014, *op. cit*). Lo que es un ejemplo claro sobre lo que representa la muerte de los individuos reproductores de la laguna Matanzas y el recambio generacional que probablemente se está viendo disminuido.

La importancia del rol ecológico que cumple la rana chilena se puede asociar al alto número de huevos y larvas que se generan por cada evento reproductivo exitoso, proporcionando una abundante fuente de proteína como sustento para aves y otros vertebrados, en la cadena trófica de un humedal. El comportamiento detritívoro de los estados larvales de la especie (Parra*et al.*, 1974) permite mantener la columna de agua continental limpia, ya que reducen la tasa natural de eutroficación, permitiendo que los humedales se mantengan en equilibrio (Soto y Valenzuela, 2012). Los juveniles consumen insectos, moluscos y artrópodos controlando a estas poblaciones y con ello protegiendo de enfermedades al hombre y sus cultivos agrícolas.

CON LOS ANTECEDENTES EXPUESTOS PUEDE ESTABLECERSE QUE:

La zona de reproducción de la población de ranas de la laguna Matanzas se ha visto alterada por condiciones físicas debido el traslape geográfico con cultivos (que implica la presencia de

fungicidas, herbicidas), y disminución del recurso acuático y por consiguiente desaparición del hábitat que ocupaban para reproducirse (al menos la zona de pajonales, seca en la actualidad y rodeada principalmente de especies colonizadoras e invasoras (Chenopodiaceae), aledaña a la zona arada y preparada para cultivo). En la época de verano los anuros se mantienen sumergidos en zonas húmedas, protegidos por vegetación hidrófila (Acuña-O y Vélez-R, 2014), en donde seleccionan las áreas para oviposición, zonas que ya no están presentes en este margen de la laguna. Si ocurrió un desplazamiento hacia el cuerpo de agua que no se encuentra disponible y, por lo observado pareciera que ocurrió un cambio abrupto en el nivel del agua (que se corresponde con la pérdida del 50% del espejo de agua en el último tiempo), probablemente asociado a una alta radiación y temperatura excesivas, tanto en el aire como en el suelo, con muy baja humedad, lo que podría haber alterado la regulación fisiológica que realiza el anfibio a través de la piel. La piel del anfibio deshidratada y endurecida probablemente impidió el intercambio gaseoso propio de la respiración cutánea y provocó probablemente asfixia en los animales (Nigel y Vljetbn, 1992), impidiendo que ocurrieran conductas de termorregulación, en condiciones ambientales no aptas para sobrevivir.

La intervención del estero las Rosas, que abastece a la laguna Matanzas es probablemente la causa de la disminución del nivel del agua de la laguna, junto con la desaparición de la cubierta vegetal ribereña y nativa, al ser removida para usos agrícolas y ganaderos.

Se pone en relieve la importancia de los anfibios como indicadores de la salud de los ecosistemas y lo prioritario que presenta su conservación (Soto - Azat y Valenzuela - Sánchez, 2012). Se indica que los anfibios son centinelas del ambiente porque son los primeros en afectarse cuando un hábitat está enfermo. En la actualidad, los humedales en Chile están bajo una fuerte presión antrópica que busca su conversión acelerada en sistemas agrícolas productivos, recreacionales e inmobiliarios principalmente (Simeone, 2012). El hallazgo de ranas chilena muertas son un síntoma alarmante sobre la muerte del ecosistema en general, con toda la fauna y flora asociada. Las tallas de los ejemplares muertos dan idea de un pool genético invaluable, con una distribución de frecuencias de la longitud rostro-cloaca mayor a la que exhiben los ejemplares del sur del país, poblaciones que en general están siendo afectadas drásticamente.

Se debe evaluar como medida de mitigación de la muerte de la rana chilena en El Yali, la cría en cautiverio de ejemplares de zonas cercanas para un futuro repoblamiento, pero solo cuando se restablezcan las variables tanto bióticas como abióticas del lugar y para conservar *in vivo* la variabilidad genética de la especie, como así mismo contribuir con el equilibrio del ecosistema.

También es necesario un plan de educación ambiental urgente a toda la comunidad involucrada.

CONCLUSIONES

El nivel de protección actual, nacional e internacional, con que cuenta laguna Matanzas, humedal El Yali es insuficiente para proteger a la población de *Calyptocephalellagayi* y probablemente tampoco es eficaz para la protección de otras especies de flora y fauna silvestre.

Los anuros de gran tamaño, importantes habitantes de los humedales, son el grupo de vertebrados más vulnerables a los cambios bruscos de las condiciones abióticas y bióticas en este ecosistema, y especialmente a drásticas disminuciones y en especial la pérdida completa de los niveles de agua, afectándose con esto la cadenas trófica de todo el ecosistema.

La laguna Matanzas ubicada en el litoral costero y en contacto directo con el estero Las Rosas es más vulnerable a la pérdida de la biodiversidad por la intervención de éste caudal, aguas arriba, por acciones antrópicas.

La pérdida del recurso acuático y por consiguiente de la diversidad de anfibios en el país coloca en riesgo los recursos agroalimentario y un pool genético invaluable por su endemicidad.

Los estudios de monitoreo periódicos de los humedales y la notificación a las autoridades del estado son una herramienta necesaria e importante para la vigilancia, control, mitigación y restauración de los ecosistemas.

AGRADECIMIENTOS

Financiamiento parcial: Agencia de Parques de Canadá, Ministerio de Medio Ambiente - Chile, Fondo de Desarrollo Disciplinario en Medio Ambiente - Universidad de Playa Ancha – Facultad de Ciencias de la Universidad Santo Tomás. Se agradece la colaboración de Javiera Meza y los demás funcionarios de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), además de Aurora Espinoza, Maria Cristina Ayala, Daniela Benavides, Cristina Urzua, Valentina Moreno y Pedro Enríquez, del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), y Pablo De Kartzow, quienes también participaron en la salida a terreno.

BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA-O., P.L. Y VÉLEZ-R., C.M. 2014. Aspectos Reproductivos. En: Manejo en Cautiverio de Rana Grande Chilena *Calyptocephalella gayi* (Duméril and Bibron, 1841) (Vélez-R., C. M.). Santiago: Eds. Universidad Santo Tomás, pp. 79 - 92.

ARROYO, M.T.K.; MARQUET, P.; MARTICORENA, C.; SIMONETTI, J.A.; CAVIERES, L.; SQUEO, F.A.; ROZZI, R. Y MASSARDO, F. 2006. El Hotspot chileno, prioridad mundial para la conservación. En: Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos (Saball, P.; Arroyo, M.T.K.; Castilla, J.C.; Estades, C.; Ladrón De Guevara, J.M.; Larraín, S.; Moreno, C.; Rivas, F.; Rovira, J.; Sánchez, A. y Sierralta, L.). Santiago: Comisión Nacional del Medio Ambiente, pp. 94-99.

BARRÍA, F. 2010. Caracterización histológica y diagnóstico de lesiones presentes en piel de rana grande chilena (*Calyptocephalella gayi*). Tesis para optar al título de Médico Veterinario. Santiago: Universidad Santo Tomás, 50 p.

BOUTILIER, R.G.; DONOHOE, P.H.; TATTERSALL, G.J. Y WEST, T.G. 1997.Hypometabolic homeostasis in overwintering aquatic amphibians. The Journal of Experimental Biology (200): 387 - 400.

CITES. 2011. Disponible en línea: <http://www.cites.org/eng/app/appendices.php>. [consulta: mayo, 2014].

CONTRERAS-LÓPEZ, C. 2014. Importancia del estero Las Rosas en el Complejo de Humedales El Yali. Informe Técnico 02/2014. Centro de Estudios Avanzados, Universidad de Playa Ancha, 25 p.

ENCINAS, A.; LE ROUX, J.; BUATOIS, L.; NIELSEN, S.; FINGER, K.; FOURTANIER, E. Y LEVENU, A. 2006. Nuevo esquema estratigráfico para los depósitos marinos miopliocenos del área de Navidad (33º00'-34º30'S), Chile central. Revista Geológica de Chile, Vol. 33(2): 221-246.

FIGUEROA, R.; SUAREZ, M.; ANDREU, A.; RUIZ, V. Y VIDAL - ABARCA, M. 2009. Caracterización Ecológica de Humedales de la Zona Semiárida en Chile Central. Gayana (Concepc.), Vol.73 (1): 76 - 94.

FORMAS, J.R. 1979. La herpetofauna de los bosques temperados de Sudamérica. En: The South American Herpetofana: its origin, evolution and dispersal (Duellman, W.E). Kansas: Musseum of Natural History, pp. 341 - 369.

FORMAS, J. 1995. Anfibios. En: Diversidad Biológica de Chile (Simonetti, J.A.; Arroyo, M.T.K.; Spotorno, A.E., y Lozada, E.). Santiago: Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica. Talleres Artegrama, pp. 314 - 325.

GANS, C. Y DE GUELDRE, G. 1992. Striated Muscle: Physiology and Functional Morphology. En: Environmental Physiology of the Amphibians (Feder, M.E. y Burggfren, W.W.). Chicago and London: The University of Chicago Press, pp. 277 - 313.

GARÍN, C.F. Y HUSSEIN, Y. 2013. Guía de reconocimiento de Anfibios y Reptiles de la Región de Valparaíso. (Espinosa, A. y Benavides, D.). Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). 63 pp.

GARÍN, C.F. Y LOBOS, G. 2008. Generalidades sobre anfibios y reptiles. En: Herpetología de Chile. (Vidal, M. y Labra, A.). Santiago: Minera Escondida, Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y Universidad de Concepción, pp. 53 – 72.

GLADE, A. 1988. Libro rojo de los vertebrados terrestres de Chile. Santiago: Corporación Nacional Forestal (CONAF), 55 pp.

HERMOSILLA, I., COLOMA, L.S., WEIGERT, G.TH., REYES, E.T., Y GOMEZ, V. 1986. Caracterización del ovario de la rana chilena *Caudiverberacaudiverbera* (Linne, 1758) (Anura, Leptodactylidae), Bol. Soc. Biol. Concepción, (57): 37 – 47.

HERMOSILLA, I. Y ACUÑA, P. 2004. Crianza en Cautividad de la Rana Grande Chilena *Caudiverberacaudiverbera* (Linnaeus, 1758). En: Cría en Cautividad de Fauna Chilena. (Iriarte, A.; Tala, Ch.; González, B.; Zapata, B.; González, G. y Maino, M.). Santiago: Ediciones Servicio Agrícola y Ganadero; Parque Metropolitano, Zoológico Nacional; Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile, pp. 107-120.

HERMOSILLA, B.I. Y COLOMA, L.1985. "La Rana Chilena" *Caudiverberacaudiverbera*. Unrecursorenovable. Arch. de Invest, (3):31 – 42.

IUCN. 2013. Red List of Threatened Species. Versión 2012.2. Disponible en línea: <www.iucnredlist.org.> [consulta: junio, 2013].

LABRA, A.; VIDAL, M.; SOLÍS, R. Y PENNA, M. 2008. Ecofisiología de anfibios y reptiles. En: Herpetología de Chile. (Vidal, M. y Labra, A.). Santiago: Minera Escondida, Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y Universidad de Concepción, pp. 483 – 511.

LÓPEZ-S., O.; ACUÑA-O., P.L.; RODRÍGUEZ, J.L. Y VÉLEZ-R., C.M. 2014. Enfermedades emergentes y parásitos. En: Manejo en Cautiverio de la Rana Grande Chilena *Calyptocephalella gayi* (Duméril and Bibron, 1841)(Vélez-R., C. M.). Santiago: Eds. Universidad Santo Tomás, pp. 93 - 111.

MCWILLIAMS, D. 2008. Nutrition recommendation for some captive Amphibian Species (Anura and Caudata), Zoos and Aquariums Nutrition Advisory and Research.Disponible en línea:<http://www.caza-narg.ca/ref/amphibian%20nutrition%20report%20CAZA%202008.pdf.> [consulta: junio, 2014].

MEZA, V.; CONTRERAS-LÓPEZ, M.; RIVERA, C.; JOFRÉ, C.; FIGUEROA, R.; BUSTILLOS, G.; DUARTE, N.; SOTO, E.; QUIROGA, E.; UGALDE, A.; RAMÍREZ, P. Y MIZOBE, C. 2013. Plan de Restauración Ecológica como Mecanismo de Adaptación al Cambio Climático en la Reserva Nacional El Yali, Región de Valparaíso, Informe Final. Valparaíso: Universidad de Playa Ancha - Agencia de Parques de Canadá - Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 242p.

MUJICA, F. 2006. Diversidad, conservación y utilización de los recursos genéticos animales de Chile. Boletín INIA, 137. Osorno: Ministerio de Agricultura, Instituto de investigaciones Agropecuarias. Centro regional de Investigación, pp. 1 – 124.

NIGEL, H.W. Y VLJETBN, V. 1992. Sensory mechanisms regulating the cardiovascular and respiratory system. En: Physiology of the Amphibians. (Feder, E.M. y Burggen, W.W.). Chicago and London: University of Chicago Press. VIII, 151 - 182 p.

ORTIZ, J.C. Y HEATWOLE, H. 2010. Status of conservation and decline of the Amphibians of Chile.En: AmphibiansBiology. (Heatwole, H. y Barrio - Amoros, C.L.). Status of decline of Amphibians: Western Hemisphere, Baulkham, Australia,pp. 20 - 29.

PARRA, O.; RIVERA, P.; GONZÁLEZ, M. Y HERMOSILLA, I. 1974. Análisis de la flora algológica del contenido estomacal de los estados larvarios de *Caudiverberacaudiverbera* (Linneaus) (rana chilena). Bol. Soc. Biol. de Concepción (40): 85 -94.

PENNA, M. Y DÍAZ – PÁEZ, H. 2008. Generalidades sobre vocalizaciones. En: Herpetología de Chile. (Vidal, M. y Labra, A.). Santiago: Minera Escondida, Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y Universidad de Concepción, pp. 31-50.

RAMSAR.2014. Ramsar Sites Information Service.Disponible en línea: <http://ramsar.wetlands.org/> [consulta: mayo de 2014].

RIVEROS, L. 2010. Evaluación de dietas con presas vivas, sobre el crecimiento de estados postmetamórficos de la rana grande chilena Calyptocephalella gayi (Duméril y Bibron 1841), criadas *ex*

situ, Región Metropolitana, Chile. Tesis para optar al grado de Médico Veterinario. Universidad Santo Tomás. 58 p.
ROJAS, C. 2010. Efecto de diferentes dietas sobre el crecimiento de estados juveniles de la rana grande chilena *Calyptocephalella gayi* (Duméril y Bribon, 1841), criadas en cautiverio, en la Región Metropolitana, Chile. Tesis para optar al grado de Médico Veterinario. Universidad Santo Tomás. Santiago. 64 p.
ROTTMANN, J. 2012. Antecedentes sobre la importancia de los anfibios chilenos. En: Conservación de Anfibios de Chile. (Soto – Azat, C. y Valenzuela – Sánchez, A.). Santiago: Universidad Nacional Andrés Bello, pp. 10 – 11.
SALIBIAN, A. 1977. Transporte de Cloro y de Sodio a través de la piel *in situ* de anfibios sudamericanos. Boletín Museo Nacional de Historia Natural Chile, (35): 121-163.
SEGOVIA, M. 2010. Determinación del inicio de la madurez sexual de la Rana Grande Chilena *Calyptocephalella gayi* (Duméril y Bribon, 1841) criada en cautiverio, basados en parámetros morfométricos de gónadas. Tesis para optar al título de Médico Veterinario, Universidad Santo Tomás, Santiago, 71 p.
SIMEONE, A. 2012. Conservación de humedales en Chile. En: Conservación de Anfibios de Chile (Soto – Azat, C. y Valenzuela – Sánchez, A). Santiago: Universidad Nacional Andrés Bello, Chile, pp. 62 – 63.
SOTO – AZAT, C. Y VALENZUELA – SÁNCHEZ, A. 2012. Conservación de anfibios y programa EDGE. En: Conservación de Anfibios de Chile (Soto – Azat, C. yValenzuela – Sánchez, A). Santiago: Universidad Nacional Andrés Bello, pp. 13 - 17.
TALA, CH. 2012. Clasificación de anfibios chilenos según estado de conservación. En: Conservación de Anfibios de Chile (Soto – Azat, C. y Valenzuela – Sánchez, A). Santiago: Universidad Nacional Andrés Bello, pp. 19 - 26.
TALA, CH.; AVILÉS, R. Y ROJAS, L. 2013. Evaluando el estado de conservación de nuestras especies nativas y difundiendo el conocimiento sobre las especies que viven en Chile. Folleto de difusión Especies en Peligro y Sistemas de Información en Biodiversidad. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile.
UPLA. 2013. Ejecución Temprana de Restauración Ecológica y un Sistema de Alerta Ambiental como Mecanismo de Adaptación al Cambio Climático en la Reserva Nacional El Yali, Informe Final, Región de Valparaíso. Valparaíso: Universidad de Playa Ancha - Ministerio del Ambiente, 162p.
VALENZUELA – SÁNCHEZ, A. 2012. Cambio Climático: efecto sobre los anfibios. En: Conservación de Anfibios de Chile (Soto – Azat, C. y Valenzuela – Sánchez, A.). Santiago: Universidad Nacional Andrés Bello, Santiago, pp. 42 – 47.
VÉLEZ-R., C.M. 2014. Manejo en Cautiverio de la Rana Grande Chilena *Calyptocephalella gayi* (Duméril and Bibron, 1841). Ediciones Universidad Santo Tomás, Santiago, Chile, 191p.
VÉLEZ-R., C.M. Y ACUÑA-O., P.L. 2014. Introducción. En: Manejo en Cautiverio de la Rana Grande Chilena *Calyptocephalella gayi* (Duméril and Bibron, 1841) (Vélez-R., C.). Ediciones Universidad Santo Tomás, pp. 11 - 14.
VÉLEZ-R., C. M.; NÚÑEZ, J.J.; ACUÑA-O., P.L Y LÓPEZ-S., O. 2014. Aspectos Generales. En: Manejo en Cautiverio de la Rana Grande Chilena *Calyptocephalella gayi* (Duméril and Bibron, 1841) (Vélez-R., C.). Ediciones Universidad Santo Tomás, pp. 15 – 24.
VIDAL-ABARCA, M.; SUÁREZ, M.; FIGUEROA, R.; ENRÍQUEZ, M.; GARCÍA, V.; DOMÍNGUEZ, C. Y ARCE, M. 2011. Caracterización hidroquímica del complejo de humedales El Yali, Chile Central. Limnetica 30(1): 43 - 58.
VIDAL, M.A. Y DÍAZ-PÁEZ, H. 2012. Biogeography of chileanherpetofauna: Biodiversity hotspot and extinction risk. En: Global advances in Biogeography (Stevens, L). Croatia: Intech Press, pp. 137 - 154.
WEST, N.G. Y VAN VLIET, B.R. 1992. Sensory Mechanisms regulating the Cardiovascular and respiratory Systems.En: Enviromental Physiology of the Amphibians (Feder, M.E. y Burggfren, W.W.).Chicago and London: The University of Chicago Press, pp. 152 - 182.
WRIGHT, K.M. 2001.Trauma. En: Amphibian Medicine and Captive Husbandry (Wright, K.M. y Whitaker, B.R.). Malabar, Fl: Krieger Publishing Company, pp. 233 - 238.
WRIGHT, K.M. AND WHITAKER, B.R. 2001.Amphibian Medicine and Captive Husbandry (Wright, K.M. y Whitaker, B.R.). Malabar, Fl:Krieger Publishing Company, 499 p.

ELEMENTOS DE LA HISTORIA NATURAL DEL SISTEMA DE HUMEDALES EL YALI

Manuel Contreras-López[*], Hernán Vergara Cortés[**], Rodrigo Figueroa Sterquel[***]

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo organizar el conocimiento sobre la historia natural del sistema de humedales El Yali, discutiendo el origen geológico de la cuenca, describir los fenómenos naturales más importantes que la han afectado e identificar las principales intervenciones humanas que explican su actual configuración. La historia natural es construida a partir de un exhaustivo análisis bibliográfico. Se puede observar la importancia de factores glacio-eustáticos, téctonicos, sedimentarios y antrópico. Este sistema es vulnerable al cambio climático contemporáneo, que junto a las presiones antropogénicas, ponen en riesgo su sustentabilidad a largo Plazo.

PALABRAS CLAVES

Formación Navidad, Chile central, Sitios Ramsar

ABSTRACT

This paper aims to organize knowledge about the natural history of El Yali wetland system, discussing the geological origins of the basin, describe the most important natural phenomena that have affected and identify the major human interventions that explain its current configuration. The natural history is constructed from a comprehensive literature review. It can see the importance of glacio-eustatic, tectonic, sedimentary and anthropogenic factors. This system is vulnerable to contemporary climate change, which together with anthropogenic pressures threaten their long-term sustainability.

KEY-WORD

Central Chile, Navidad Formation, Ramsar sites

[*] Académico Facultad de Ingeniería e Investigador Centro de Estudios Avanzados, Universidad de Playa Ancha, e-mail: manuel.contreras@upla.cl.
[**] Académico Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso, e-mail: hernan.vergara@uv.cl.
[***] Doctor en Geografía, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, e-mail: rodrigo.figueroa@ucv.cl.

INTRODUCCIÓN

En los últimos treinta años diversos autores han coincidido sobre la falta de estudios e información respecto a los humedales y lagunas costeras en Chile central (Leighton, 1985; Leighton *et al.*, 1987; Stuardo y Valdovinos, 1989; Valdovinos, 2004; Cienfuegos *et al.*, 2012), a pesar de su reconocida importancia a nivel mundial (Yáñez – Arancibia, 1986; Dyer, 1997; Babinger, 2002). Los humedales son zonas en que el agua es el principal factor que controla la vida vegetal y animal. Corresponden a sistemas altamente productivos, intermedios entre ambientes permanentemente inundados y ambientes secos. Tienen asociadas varias funciones, entre los que destacan el control de sedimentos, la descarga de aguas subterráneas y la protección de zonas costeras (Scott y Carbonell, 1986; Bó y Malvárez, 1999). Estos sitios son de especial importancia para las aves marinas, ya que les proporcionan lugares donde pueden pasar todo o parte del año para cubrir una determinada etapa de su ciclo anual, como la nidificación y crianza, muda del plumaje y descanso (López-Lanús y Blanco, 2005; Estades *et al.*, 2012).

En Chile central (30ºS - 41,40ºS) existe una compleja red de humedales costeros (Riveros *et al.*, 1981; Parra *et al.*, 2003; Rasek y Riveros, 2006; Andrade y Grau, 2005; Marquet *et al.*, 2012). Entre éstos destaca el sistema de humedales de El Yali, ubicado al sur de la comuna de Santo Domingo, región de Valparaíso (Vilina, 1994; Fariña *et al.*, 2012). El sistema de humedales El Yali se emplaza en una planicie costera localizada entre los 33°49'S – 33°43'S y 71°46'W – 71°22'W, limita al norte con la cuenca del río Maipo y al sur con la del río Rapel. Con unas doce mil hectáreas de superficie, comprende dieciseis cuerpos de agua someros diferentes, representados por cinco esteros (El Yali, Santa Rosa, El Peuco, Tricao y Maitenlahue), dos vegas (El Convento y Vega de Talca), dos salinas (El Convento y Bucalemu), el embalse Los Molles, áreas de médanos y ocho lagunas (Cabildo, Seca, Matanzas, Colejuda, Guairabo, El Rey, Maura y Albufera).

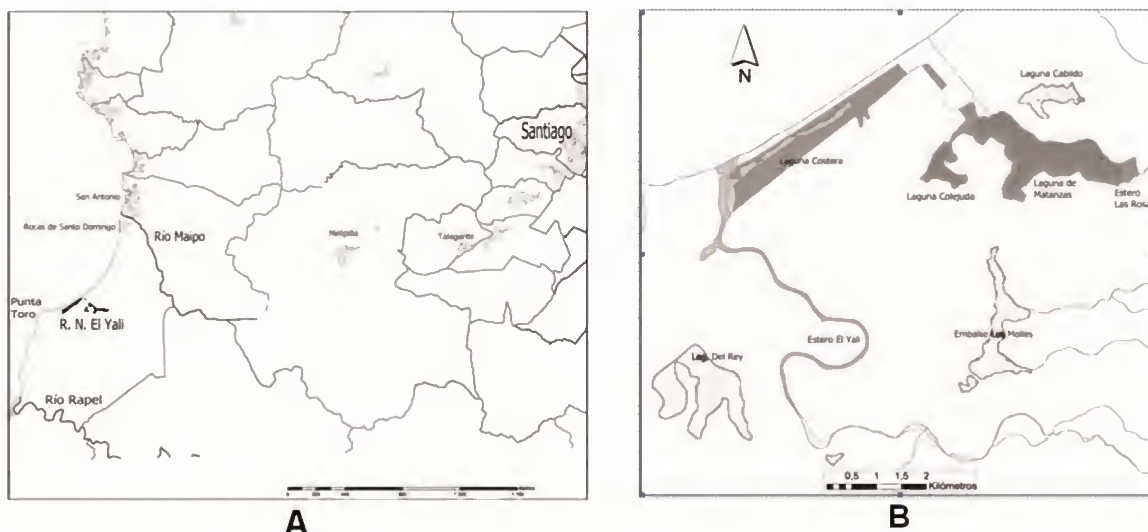


Figura 1. Arriba, A: ubicación de la RN El Yali y su contexto urbano. B: límites de la RN El Yali

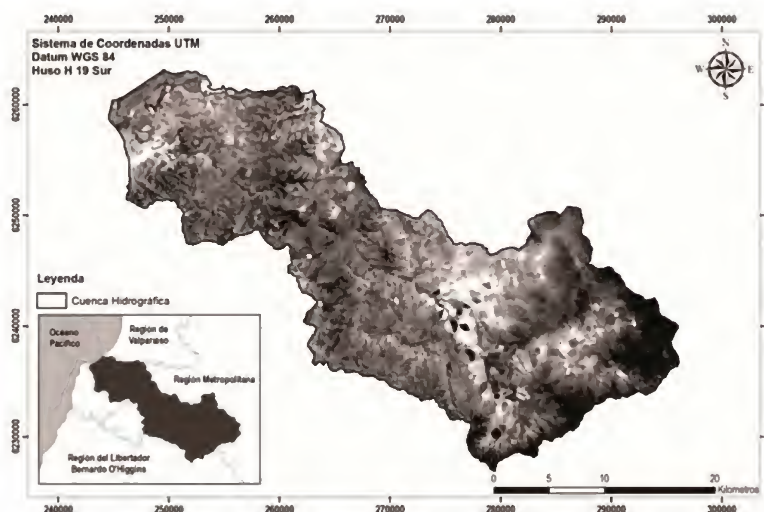


Figura 1.Abajo, Cuenca del estero El Yali y su contexto Político Administrativo (cuadro).

Existe amplio consenso en que la Reserva Nacional El Yali sustenta la representación del 28% de la avifauna de nuestro país (Vilina, 1994; Silva-García y Brewer, 2007; Maceda *et al.*, 2008; Brito, 2009). A este lugar llegan 18 especies de aves migratorias, 15 de las cuales provienen del hemisferio norte (Sallaberry y Mann, 2007; Schmitt y Barros, 2009) y otras transitan desde el extremo austral del continente (Gibbons *et al.*, 2007; Raimilla, 2012). Por este motivo se encuentra protegido bajo la convención Ramsar (sitio N° 878). El sistema se encuentra forzado por diversas presiones humanas en su entorno y presumiblemente los efectos del cambio y variabilidad climática generarán cambios adicionales que pueden alterar su capacidad de resiliencia, como es el caso del alza del nivel del mar en el sector (Contreras *et al.,* 2012). En la figura 1 se muestra la localización del sistema de humedales El Yali. Se señalan las desembocaduras del río Rapel y el río Maipo y Punta Toro. Se destaca el área de alrededor de 500 hectáreas protegidas, denominado Reserva Nacional El Yali. El emplazamiento de la reserva se encuentra asociado a una extensa playa de más de 20 kilómetros de longitud entre la ribera sur de la desembocadura del río Maipo y Punta Toro, donde un sistema de dunas protege una laguna costera y separa varios de los cuerpos de agua del sistema de humedales que sustenta la biodiversidad y abundancia del sector.

Pese a la importancia de El Yali, la escasez de estudios sobre humedales costeros de Chile central, implica que existen varios aspectos insuficientemente abordados, especialmente en aquellas temáticas que pueden explicar la confluencia de factores que propician la gran biodiversidad de este sistema de humedales. Al respecto, Noguera (1956) propone una primera descripción de la evolución geológica del estero El Yali, con los antecedentes disponibles a mediados del siglo pasado. Lara (2000) actualiza la descripción geológica y los complementa con antecedentes climáticos y oceanográficos costeros, interpretando los perfiles de diversos cortes transversales de la zona del humedal. Fariña *et al.* (2012) reúne los antecedentes hidroclimáticos, históricos y de biodiversidad, estableciendo varías recomendaciones para una comprensión más profunda del sistema de humedales y bosquejando la historia natural del sistema, pero en su análisis no incorpora los efectos del tsunami del año 2010 ni otros efectos de fenómenos naturales recientes. Meza *et al.* (2013) y UPLA (2013) sistematizan algunos de los antecedentes anteriores y proponen una descripción actualizada de la evolución geológica del estero, destacando los efectos de solevantamientos costeros y movimientos cosísmicos verticales en la conformación actual de los cuerpos de agua que constituyen el humedal.

El objetivo del presente trabajo es organizar los antecedentes disponibles en un documento que proponga el origen geológico de la cuenca, de cuenta de los fenómenos naturales más relevantes que explican la actual conformación del sistema de humedales e identifique las principales intervenciones humanas en el sector.

METODOLOGÍA

El punto de partida de este trabajo corresponde a una exhaustiva revisión de antecedentes publicados y análisis de información gris (es decir tesis, informes técnicos, resúmenes de comunicaciones en congresos y seminarios y todo tipo de documentos que por su naturaleza son difíciles de acceder o no cuentan con una línea editorial), reunidos en el marco de cinco proyectos de investigación desarrollados entre los años 2010 y 2013:

- Año 2010: "Post Tsunami Survey Chile 2010" (NSF RAPID award CMMI-1034886: UCHILE, UTSM, PUC, UV, UPLA).
- Año 2011: "Efectos del Tsunami 27/02 sobre los equilibrios morfodinámicos de la Laguna Albufera (33º45'36"S; 71º 44' 21"W) en la Reserva Nacional El Yali" (DGI-UPLA ING/03-11).
- Año 2012: "Efectos Locales de Cambio Climático en la Zona Costera de la Región de Valparaíso – Chile y la Provincia de Manabí - Ecuador: Evaluación de la alteración de playas y litoral costero" (DGI-UPLA ING 01/1213).
- Año 2013: "Formulación del Plan de Restauración Ecológica como mecanismo de adaptación al Cambio Climático en la Reserva Nacional El Yali (región de Valparaíso)" (Agencia de Parques de Canadá) – Fase I y "Ejecución Temprana de Restauración Ecológica y un Sistema de Alerta Ambiental como Mecanismo de Adaptación al Cambio Climático en la Reserva Nacional El Yali, Región de Valparaíso" (MMA) – Fase II.

Los antecedentes recabados fueron organizados en una línea de tiempo y analizados críticamente, para poder así construir una historia coherente que abarca desde el origen geológico de la cuenca, las perturbaciones naturales más relevantes y las intervenciones de origen humano que han tenido efecto sobre la conformación actual del sistema de humedales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: HISTORIA NATURAL HUMEDAL EL YALI

1. Origen geológico de la cuenca El Yali

Para comprender la configuración actual de la cuenca de El Yali, se deben tomar en cuenta los grandes movimientos tectónicos que se produjeron en el período Terciario medio, y que provocaron fuertes dislocaciones por fallas en las costas de Chile central, junto con el alzamiento de la cordillera de los Andes a su altura actual, el hundimiento del valle longitudinal y la formación de la cordillera de la costa (Noguera, 1956). Los esteros que nacían en la cordillera de la costa escurrían hacia el mar con fuertes pendientes, depositando en su curso diversos sedimentos fluviales gruesos y arrastrando el material fino hacia el mar. Nuevos movimientos tectónicos violentos solevantaron el lecho marino adyacente y formaron los sucesivos sistemas de terrazas marinas que se distinguen a lo largo de la costa del sector. En particular, en la zona de El Yali se pueden distinguir cinco movimientos principales: dos solevantamientos, un hundimiento y un solevantamiento posterior (Noguera, 1956), seguido por un último solevantamiento asociado al terremoto de 1985 (Barrientos y Kausel, 1990).

De esta forma, el desarrollo tanto de El Yali como el complejo al cual pertenece, obedece a la interacción de varios factores dinámicos que han determinado la evolución geomorfológica que ha experimentado la costa de Chile central durante los últimos 18.000 años (Fariña *et al.*, 2012). Un elemento importante que se debe tomar en cuenta es la formación Navidad (33°33'S

- 34°00'S), que se emplaza 20 km al sur de la Reserva Nacional El Yali (figura 2). Fue originalmente definida por Darwin (1846), quien describió los estratos marinos Neógenos del área. La edad de esta formación ha sido objeto de intenso debate, sin embargo estudios recientes (Encinas *et al.*, 2006; Gutiérrez *et al.*, 2013) señalan una edad que va del Mioceno temprano - medio. El sector de Navidad se caracteriza por presentar un acantilado costero que se extiende desde la desembocadura del río Rapel (en Punta Perro) hasta la playa de Matanza. A lo largo del acantilado se pueden observar los estratos que afloran de la formación Navidad los cuales se encuentran en posición horizontal. En estos estratos se encuentra una gran abundancia de fósiles entre los cuales se destacan gastrópodos, bivalvos, braquiópodos, corales solitarios, foraminíferos, ostrácodos, dientes de tiburón, cangrejos, briozoos, hojas y troncos los cuales se encuentran principalmente en areniscas de grano fino a medio de un color amarillento.

Los fósiles de la formación Navidad permiten realizar una reconstrucción del origen y evolución del complejo de humedales, que habría comenzado a formarse con la depositación de arenas y gravas continentales sobre los estratos de la formación, secuencia del Mioceno - Plioceno que constituye el principal relleno de la costa entre los río Rapel y Maipo (Fariña *et al.*, 2012). Los afloramientos se distribuyen sobre un dominio estructural de basamento, desarrollado en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, reconocida entre los 33 y 34°S, desde los 71°15'W hasta el margen Pacífico. Está constituido por unidades plutónicas-metamórficas de edades paleozoicas a jurásicas, con un relieve maduro de alturas que no sobrepasan los 960 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Secuencias sedimentarias subhorizontales, de origen marino, con edades del Mioceno-Plioceno se exponen a lo largo de la franja costera. Terrazas de abrasión marina, labradas especialmente sobre las unidades plutónico-metamórficas se encuentran a altitudes variables entre 60 y 290 m.s.n.m. y están relacionadas con diferentes transgresiones marinas, en parte posiblemente contemporáneas con la Formación Navidad. Las Lavas Las Pataguas (LLP), del Mioceno, no poseen relaciones de contacto con la Formación Navidad, pero presentarían evidencias de abrasión marina relacionadas con ella. El nivel superficial Plio-cuaternaria, incluye secuencias sedimentarias transicionales y continentales aluviales y eólicas (Estratos de Potrero Alto), cuyas facies basales engranarían hacia el oeste con niveles superiores de la Formación Navidad. A su vez, hacia el oeste, sedimentos marinos del Pleistoceno-Holoceno, que no sobrepasan los 25 m.s.n.m. evidencian una última transgresión marina (Wall *et al.*, 1996).

Las transgresiones marinas ocurridas tras la última glaciación (14.000 años atrás) y durante el Holoceno medio (6.000 años atrás) permitieron la acumulación de sedimentos marino litorales y/o fluviomarinos a través de la cuenca (Fariña *et al.*, 2012). La actividad tectónica expresa en los movimientos cosísmicos verticales (Quezada *et al.*, 2010) que caracteriza los últimos 3.000 años (Holoceno inferior) produce el alzamiento regional de la costa que ocasionó la emersión de una terraza litoral sobre la cual se emplaza el humedal. Una manifestación de ello es el bloque gneísico presente en el sector suroeste de laguna La Colejuda (figura 3).

Producto del solevantamiento costero, ocurre una regresión marina que inicia la progradación de la línea costera por medio de procesos sedimentarios eólicos y fluviales (Paskoff *et al.*, 2000). La existencia de rellenos fluviales y de dunas transgresivas y parabólicas en el área indica que la progradación ocurrió a través del aporte de cargas sedimentarias de los ríos Rapel y Maipo a través de la deriva litoral y el transporte eólico (Paskoff y Manríquez, 2004).

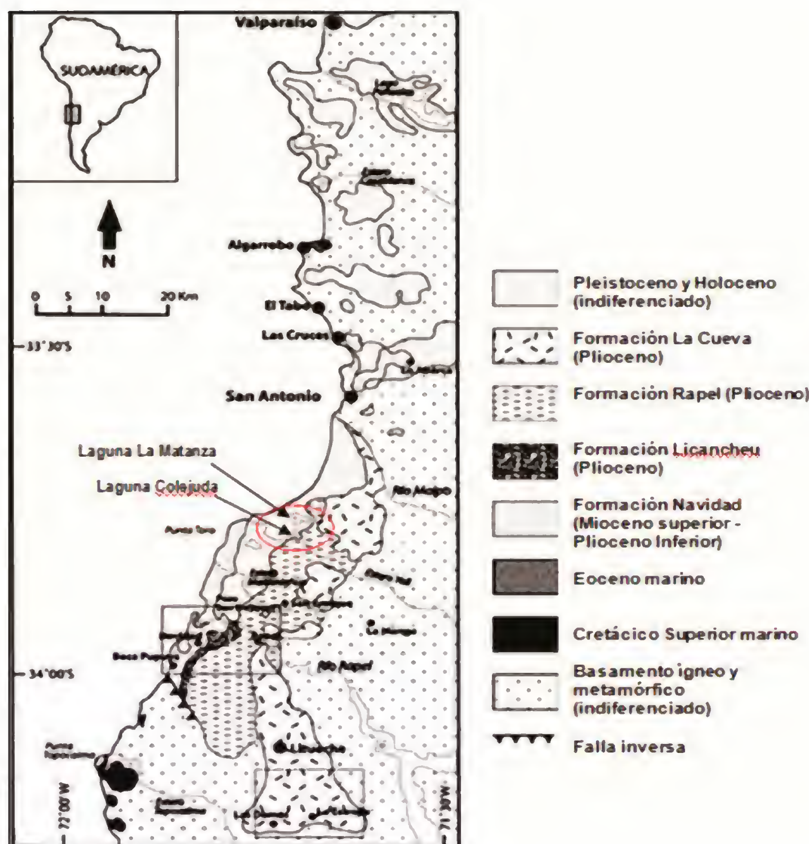


Figura 2: Mapa geológico de las formaciones Navidad, Licancheu, Rapel y la Cueva. Todas colindantes o emplazadas en la cuenca del sistema del humedad El Yali. Se puede observar como la Reserva Nacional El Yali (círculo rojo) se encuentra emplazada entre la formación Navidad, la formación Rapel y material sedimentario indiferenciado entre el Pleistoceno y Holoceno. Fuente: Encinas *et al.* (2006).

Se han realizado esfuerzos por reconstruir la vegetación del lugar sobre la base de asociaciones fósiles (Hinojosa, 2005; Hinojosa y Villagrán, 1997). Sin embargo, se debe considerar que estas reconstrucciones son aproximadas, ya que muestras individuales solo representan un registro parcial de la flora de origen. Por otra parte, en muy pocas ocasiones, el polen fósil disperso puede ser referido a taxones actuales con una precisión mayor que la genérica, y por lo común solo a nivel de familia (Barreda *et al.*, 2011). Este bajo nivel de resolución taxonómica a veces causa dificultades para reconstruir la vegetación y/o determinar sus requerimientos paleo ecológicos, ya que un género y/o familia pueden incluir taxones con amplio rango de requerimientos ecológicos y diferentes formas de vida. Sin embargo, teniendo en cuenta estas limitaciones, que en parte son inherentes a todo el registro fósil, las asociaciones esporopolínicas son una de las herramientas más eficaces para determinar la composición y estructura general de las comunidades vegetales productoras, a la vez que constituyen un excelente complemento de los macrofósiles (Barreda *et al.*, 2011, *op. cit*).



Figura 3: Gneis presente en el sector suroeste de laguna La Colejuda (33°45'51"; 71°42'04"). Fotografía Hernán Vergara (2013).

En el caso particular de la formación Navidad, el registro palinológico es bastante coincidente con el registro paleobotánico previo. Las asociaciones palinológicas recuperadas de la formación Navidad sugieren para los niveles analizados, un ambiente de marisma litoral o pantano costero con escasa influencia marina. Esta interpretación surge de la baja representación de los componentes marinos, tanto en número de individuos cuanto en diversidad específica y la magnitud del aporte continental con abundantes leños, cutículas, esporas e hifas de hongos, algas de agua dulce y demás elementos de origen terrestre. Sin embargo, la presencia de otros fósiles indicativos de un ambiente marino abierto (Suárez *et al.*, 2006; Finger *et al.*, 2007; Encinas *et al.*, 2006) en la mayor parte de las capas muestreadas podría indicar, de manera alternativa, que los palinomorfos fueron transportados a un ambiente más profundo. Tal información también sugiere que habría prevalecido una vegetación de bosque, de considerable diversidad, con participación de elementos australes y componentes neotropicales. El sotobosque habría estado dominado por helechos, algunos de ellos arborescentes y angiospermas herbáceas. En áreas marginales de los bosques podrían haberse desarrollado formaciones esclerófilas con participación de Anacardiaceae y *Fabaceae* y en zonas costeras sobre suelos áridos y salobres Calyceracaea y Chenopodiaceae (Barreda *et al.*, 2011).

Barreda *et al.* (2011, *op.cit*), también sugiere que estas comunidades vegetales se habrían desarrollado bajo condiciones de clima subtropical, cálido y húmedo. Los grupos florísticos dominantes en la asociación (Podocarpaceae, Araucariaceae, Nothofagaceae) actualmente se desarrollan bajo condiciones de alta humedad. Estos requerimientos también se sustentan por la abundancia de helechos, de angiospermas hidrófitas como las Sparganiaceae y la gran abundancia de esporas de hongos. Por otro lado, la presencia de Malpighiaceae, Arecaceae, Sapotaceae, Anacardiaceae, Myrtaceae, y, en algunos niveles la abundancia de Chloranthaceae y Cyatheaceae, todas familias de reconocido carácter megatérmico, sugieren un clima lo suficientemente benigno como para permitir su desarrollo. La presencia de Sapotaceae (familia de distribución pantropical), en Chile se encuentra representada por la especie *Pouteria splendens*, restringida a la costa de Chile centro - norte, desarrollándose bajo condiciones de neblina costera.

Estos resultados serían coincidentes con el bosquejo paleoclimático inferido para la megaflora de Goterones; donde las estimaciones de paleotemperaturas a partir de estudios de fisionomía foliar sugieren una temperatura media anual de entre 15,6 ± 2,1°C y 16,9 ± 2,1°C (Hinojosa, 2005; Hinojosa y Villagrán, 1997). Por otra parte, los estudios paleoclimáticos realizados sobre el análisis de testigos lacustres colectados en las lagunas Matanzas (Jenny *et al.*, 2000; Villa-Martínez, 2002) y Colejuda (Valero-Garcés *et al.*, 2010, citado por Fariña *et al.*, 2012) sugieren

que la evolución del complejo de humedales durante los últimos 3.000 años ha estado modelada principalmente por cambios en la sedimentación eólica y variaciones significativas en las precipitaciones dadas por el fenómeno El Niño - Oscilación Sur, que incrementó su frecuencia e intensidad a partir del Holoceno (Martínez, 2009).

El análisis polínico, sedimentológico, geoquímico y de subfósiles de *Quironómidos*, señalan que entre 5.000 a 3.300 años atrás la laguna Matanzas era una laguna litoral con condiciones de salinidad moderada a baja (Villa-Martínez, 2002). Durante todo este período las precipitaciones muestran importantes fluctuaciones, distinguiéndose dos intervalos lluviosos a los 4.900 - 4.800 años atrás y los 4.500 a 3.300 años atrás, separados por un intervalo más seco entre los 4.800 y 4500 años atrás (Villa-Martínez, 2002, *op. cit*). Variaciones en las concentraciones de *Pediastrum boryanum* detectadas a los 4.500 a 4.300 años atrás sugieren fluctuaciones importantes de salinidad, aunque con predominios de condiciones de baja salinidad en laguna Matanzas, cuando era una laguna litoral (Fariña *et al*., 2012, *op. cit*).

A partir de los 3.300 hasta los 2.600 años atrás, habría ocurrido un importante incremento en la salinidad, probablemente representando un cambio en el sistema desde una laguna litoral a un lago hipersalino (Villa-Martínez, 2002, *op. cit*). Probablemente este cambio se relacionaría con el cierre de la cuenca de la laguna Matanzas unos 2.600 años atrás (figura 4) debido al predominio de procesos sedimentarios eólicos que llevaron a la formación del cordón de dunas que actualmente represan el sistema (Fariña *et al*., 2012, *op. cit*; Paskoff y Manríquez, 2004; Martínez, 2009), y que se encuentra inmediatamente al norte de la formación Navidad. Esta duna consolidada (El Convento) cuya extensión se cuenta entre las más importantes de la región al superar las 1.000 hectáreas. Hoy en día, es difícil apreciar su tamaño, debido a los enormes esfuerzos realizados en el siglo XX para consolidar mediante bosques de pino y eucalipto su avance (Albert, 1900). Estos bosques contribuyen a ocultar la presencia de la duna.

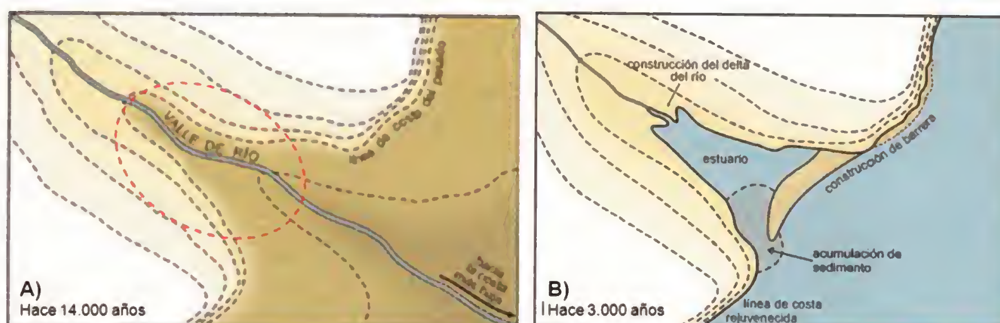


Figura 4: Situación probable del estero Las Rosas y el emplazamiento de la actual laguna Matanzas: A) hace 14.000 años atrás (círculo rojo señala emplazamiento actual de la laguna) y B) hace 3.000 años atrás. Fuente: adaptado de Martínez (2009).

Durante el proceso de cierre de la laguna Matanzas, también habría sido importante la sedimentación fluvial dada por crecidas del estero Las Rosas (Fariña *et al*., 2012, op. cit.). La aparición de especies de *Quironómidos* intolerantes a la salinidad y las bajas concentraciones de Cloro detectadas en los sedimentos sugieren que a partir de los 2.400 años atrás habrían persistido condiciones de salinidad moderadas a bajas en la laguna Matanzas (Jenny *et al*., 2000, citado por Fariña *et al*., 2012). Durante este lapso los sedimentos evidencian al menos 20 períodos de inundación diferentes, lo que indicaría marcadas fluctuaciones en las lluvias de invierno (Villa - Martínez, 2002, op. cit.).

Para los últimos 150 años, Villa-Martínez (2002, *op. cit*) reconoce un deterioro en la vegetación de bosque en torno a la laguna Matanzas, lo que atribuye a la actividad antrópica. No obstante, Fariña *et al.* (2012, *op. cit*), señalan que una explicación alternativa pero no excluyente es la disminución en las precipitaciones detectada por el testigo de la laguna Colejuda por Valero-Garcés *et al.* (2010).

2. FENÓMENOS NATURALES RECIENTES

Se estima que los principales fenómenos naturales que afectan el humedal son: a) la presencia del fenómeno El Niño - Oscilación Sur, tanto en su fase cálida (asociado a importantes precipitaciones) como fría (asociado a sequía); y b) el efecto de terremotos y tsunamis.

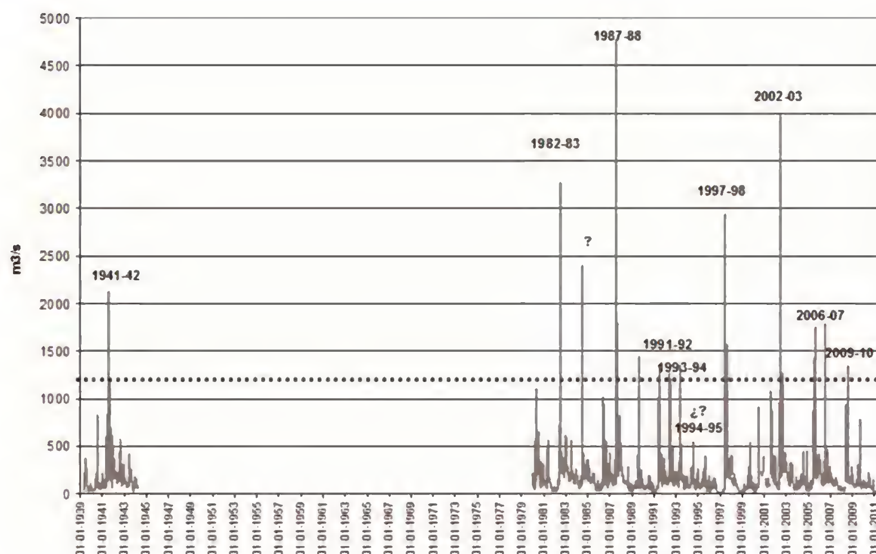


Figura 5: Caudal diario del río Maipo registrado entre enero de 1939 y junio de 2012 en el sector de Cabimbao bajo, cerca de su desembocadura. En este sector, el caudal promedio del río es de 200m^3/s y se puede apreciar diversos incrementos que superan los 1.200 m^3/s, asociados al fenómeno El Niño.

2.1. EL NIÑO - OSCILACIÓN SUR

No existen registros directo de lo ocurrido en el humedal, pero el aumento de precipitaciones y del caudal registrado del río Maipo en 30 veces su caudal normal en los años 1982/83 y 1997/98, hacen suponer que esteros como Las Rosas, afluentes de la laguna Matanzas, tuvieron grandes crecidas. Existen evidencias de arrastre de rocas y piedras que sólo se pueden explicar por caudales importantes en el área. La fase fría del fenómeno, conocido como La Niña, provoca serias sequías en el lugar. Por ejemplo la condición La Niña entre los años 2010 y 2011 (CPPS, 2011), implicó que la mayoría de los cuerpos de agua se sequen completamente.

En la figura 5 se muestra la evolución diaria del caudal del río Maipo en próximo a su desembocadura (a unos 20 kilómetros del humedal El Yali) desde el año 1939 hasta nuestros días, se puede observar claramente las perturbaciones provocadas por la presencia del fenómeno El Niño.

2.2. TERREMOTOS Y TSUNAMIS

El litoral de la Reserva Nacional El Yali se encuentra a unos 100 km de la zona de convergencia de placas que forma parte de uno de los segmentos de la zona de subducción sudamericana. En esta zona de subducción ocurren sismos con magnitudes mayores a 6,7 y cuyos epicentros están muy cerca de la línea de costa o sobre el lecho marino profundo. Estas dos condiciones son suficientes para considerarla de alto riesgo tsunamigénico debido a la generación de tsunamis de campo cercano. Los tsunamis no siempre son destructivos al arribar a las costas, pudiendo alcanzar desde pocos centímetros a varios metros. Un factor determinante es si el arribo se realiza en condiciones de bajamar o pleamar (mitigando o amplificando sus efectos). Asimismo es necesario considerar también los tsunamis de campo lejano (generados en lugares geográficos distantes), cuyo ejemplo contemporáneo que se originó el 11 de marzo de 2011 en Japón.

Al consultar los catálogos: a) Base de datos históricos sobre tsunamis para el Pacífico (Gusiakov, 2001), HTDB/Pac (2005); b) Base de datos históricos mundial sobre tsunamis (HTDB/WLD, 2011), y c) Base de datos de tsunami de NOAA/WDC (NOAA, 2013), se puede inferir que la zona costera de la Reserva Nacional El Yali ha sido afectada por once tsunamis desde 1900 a la fecha: (1) Valparaíso 1906 Mw 8,2; (2) Constitución 1928 Mw 7,6; (3) Alaska 1946 Mw 8,1; (4) Rusia 1952 Mw 9,0; (5) Alaska 1957 Mw 8,6; (6) Valdivia 1960 Mw 9,5; (7) Alaska 1964 Mw 9,2; (8) Valparaíso 1971 Mw 7,5; (9) San Antonio 1985 Mw 8,0; (10) Cobquecura 2010 Mw 8,8; y (11) Japón 2011 Mw 9,1. A continuación se describen los efectos del suceso del 27 de febrero de 2010.

La Reserva Nacional El Yali fue ampliamente afectada por el terremoto Mw = 8,8 y tsunami del 27 de Febrero del 2010 (Rubio y Basic, 2011; Fariña *et al.*, 2010). La onda del tsunami ingresó en promedio más de un kilómetro, alcanzando en algunos casos dos kilómetros sobre la línea de más alta marea, penetrando tierra adentro e inundando una superficie de 200 hectáreas del área protegida. Este suceso afectó principalmente a la laguna Albufera, debido al rompimiento de la barra costera, cuya consecuencia más significativa fue la pérdida en el equilibrio del ecosistema.

Este evento provocó cambios en el ecosistema del humedal, arrasando con la vegetación y dejando un gran número de especies de aves muertas, además de alterar los sitios de nidificación y descanso de estas mismas. Se produjo una alteración en el paisaje, debido a que la ola transportó mediante arrastre diversos tipos de algas, material clástico que abarcó todo el espectro granulométrico, basura de origen doméstico, artes de pesca y escombros del orden de 10 toneladas..

Debido a que el lugar se encuentra deshabitado, el impresionante efecto de la onda de tsunami en el sector, no fue difundido por los medios de comunicación, pasando casi inadvertido. De hecho, este sector fue el área costera continental con mayor penetración lineal de la onda del tsunami tierra adentro en toda la costa de Chile afectada por este fenómeno natural (Fritz *et al.*, 2011). Lo anterior se explica porque la reserva se encuentra emplazada en un sector extremadamente plano en el sector colindante al borde costero, encontrándose varios puntos bajo el nivel medio del mar. No se reportaron pérdidas de vidas humanas, debido a que nadie se encontraba en la zona de inundación entre las 4:00 y 7:00 de la madrugada.

3. EVOLUCIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA

La desembocadura del estero El Yali y la Albufera han experimentado cambios drásticos en su morfología reciente por efecto del tsunami del año 2010. La destrucción de las dunas costeras significó un aumento en la vulnerabilidad del ecosistema de la laguna ante marejadas y tsunamis, como quedó demostrado con el tsunami de campo lejano de Japón el 2011. En el caso de El Yali, las dunas costeras fueron afectadas doblemente: primero por la embestida y posteriormente por el mecanismo de reptación, el agua erosionó el área de un volumen de sedimentos no cuantificado pero a simple vista significativo al comparar el campo dunar con imágenes pre-tsunami. Sin embargo al revisar los facsímiles de las fuentes cartográficas históricas del Instituto Geográfico Militar (Meza *et al.*, 2013) y la evolución reciente del campo dunar, se puede apreciar la inestabilidad y fragilidad del sistema desde el año 1923 a la fecha. La laguna costera se encuentra emplazada en el lugar donde antiguamente se encontraba la desembocadura del estero El Yali. Esta desembocadura se trasladó en dirección sur. Se presume que durante varias oportunidades en el pasado las dunas costeras del sector fueron arrasadas por tsunami y/o marejadas muy intensas. Sin embargo, siempre se reconstruían debido al importante aporte de sedimentos del río Rapel. Posterior a la construcción del embalse Rapel (que permitió represar el río en el año 1968) y por lo tanto el corte definitivo de aportes continuos de sedimentos, la situación parece sugerir que el sistema carece de su capacidad de regeneración natural o bien que requeriría de un lapso de tiempo mayor, debido a que los volúmenes de sedimentos que aportaba el Rapel disminuyeron abruptamente tras su represamiento.

De acuerdo a Paskoff *et al.* (2000), los cordones dunares que se encuentran en la zona costera del humedal sobre la extensa playa que se extiende desde Punta Toro por el sur hasta la desembocadura del río Maipo por el norte (figura 1A) revelan las diferentes etapas en la progradación de la línea costera durante el Holoceno: durante la culminación de la transgresión postglacial, hace 5.000 o 6.000 años, el mar ocupaba todo lo que es hoy la terraza litoral baja y llegaba a unos 5 a 7 metros sobre su nivel actual, hasta el pie mismo del acantilado, hoy día parcialmente sepultado bajo las dunas parabólicas transgresivas. La regresión del mar, que intervino después y tuvo como consecuencia la emersión de la terraza baja, se explica primero por un solevantamiento del continente en relación con la zona de subducción que coincide con la costa. En ese contexto, se podría dar cuenta de la secuencia de cordones dunares paralelos por desplazamientos verticales bruscos del borde costero, de tipo cosísmico como el que ocurrió en esta región durante el terremoto del 3 de marzo de 1985 (IGM, 1984-1985) y también con el del 27 de febrero de 2010. Asimismo, en términos de variabilidad climática durante los últimos 5 millones de años, cabe destacar el evento climático del Piazenciano Medio (durante el Plioceno) calibrado entre 2,9 y 3,3 millones de años que consistió en 3 eventos cálidos detectados mediante paleo temperaturas del bentos versus la escala de inversión geomagnética y edad cronométrica; estos pulsos cálidos han tenido una recurrencia del orden de 800.000 años (Raymo *et al.*, 2011). Otra explicación, alternativa pero no excluyente, se relaciona con fenómenos sedimentarios de una magnitud suficientemente grande como para originar una progradación significativa de la orilla del mar. En efecto, episódicamente, voluminosos pulsos de sedimentos volcánicos, principalmente cenizas, han tenido que llegar hasta este sector, acarreados a partir de la desembocadura del río Rapel por una deriva litoral dominante orientada hacia el norte. Estos pulsos pueden vincularse con periodos de actividad del volcán Tinguiririca que es activo y que se localiza aguas arriba en la cuenca hidrográfica del río Rapel. Con la llegada masiva de sedimentos, la línea costera era capaz de desplazarse repentinamente, como por saltos, originando la formación de un nuevo cordón dunar delante del anterior y separado de él por un espacio bajo. La ausencia de desgaste del material arenoso indica un aporte brusco y accidental que viene a apoyar esta segunda hipótesis.



Figura 6: Evolución reciente de la desembocadura del estero El Yali y la Albufera. Fuente: Contreras y Figueroa (en preparación).

Se puede inferir (Paskoff *et al.*, 2000, op.cit.), que probablemente a fines del siglo XVII o a principios del siglo XVIII, la orilla del mar se localizaba aproximadamente unos 300 m detrás de la actual, y la progradación de la línea costera desde el siglo XIX ha sido del orden de 150 m.

Paskoff *et al.* (2000, *op. cit.*), señala la anomalía que los cordones dunares externos presentan un mejor estado de conservación que los cordones internos. En efecto, generalmente ocurre lo contrario. Una vez privado de aportes de arena fresca a partir de la playa por la formación de un nuevo cordón delante de él, un cordón dunar tiende a estabilizarse ya que su poblamiento vegetal se vuelve más denso y más diverso, lo que a su vez acelera la alteración pedológica y por retroacción positiva favorece aún más la estabilización. Este tipo de evolución, de la cual muchos ejemplos son descritos en la literatura y se citan en textos (Martínez, 2009), pudieran haber ocurrido también en este lugar, ya que el clima es lo suficientemente lluvioso (promedio anual alrededor de 500 mm) y la humedad atmosférica alta a lo largo del año, nunca menos del 75%. Para entender la situación que existe aquí, se puede pensar que la convergencia de los flujos de aire, al acercarse del acantilado que limita tierra adentro la terraza litoral baja, aumenta su velocidad, lo que habría permitido la desestabilización de los cordones internos y la puesta en movimiento de sus arenas. Otra hipótesis explicativa supone una acción antrópica. Desde la época colonial, en esta parte de la costa de Chile, se desarrollaron actividades agropecuarias. Las terrazas litorales altas fueron cultivadas mientras que las laderas de los cerros y los espacios dunares naturalmente fijados por la vegetación sirvieron de terrenos para la ganadería. Un sobrepastoreo sobre dunas tiene como consecuencia un empobrecimiento de la cobertura vegetal y, por lo tanto, una reactivación de los procesos eólicos de deflación, de transporte y de acumulación, que terminan por generar dunas parabólicas transgresivas. Los cordones dunares más recientes, por estar cubiertos de plantas menos densas, menos diversas y poco apetecidas por los animales, no habrían sufrido tal degradación y, por consiguiente, habrían conservado su forma original.

4. INTERVENCIONES HUMANAS

4.1. ASENTAMIENTOS HUMANOS

En el humedal existen diversos indicios de una importante ocupación pre-histórica que data desde unos 6.000 años atrás, debido a las bondades del clima y la disponibilidad de alimentos en la zona estuarina (Brito, 2009; Rivas y González, 2008; Falabella *et al.*, 2007; Falabella y Sanhueza, 2005). Sin embargo, el único sitio estudiado en profundidad es la laguna La Matanza (Falabella y Planella, 1980). Se reconocen los siguientes períodos:

- Arcaico (8.000 a 300 AC). Recolectores y cazadores con movilidad entre la cordillera y el mar. Sin embargo existen indicios de que comenzaban a experimentar con cultivos. En el humedal El Yali se conocen dos sitios correspondientes a este período.
- Alfarero temprano (300 AC a 900 DC). Conocida como tradición Bato, con importantes vestigios de alfarería. Se sobrepone la cultura Llolleo (0 a 100 DC) quienes tienen una importante presencia en la zona costera del humedal. Existen algunas evidencias de una tercera cultura presente en El Yali, pero que no ha sido estudiada en profundidad (Brito, 2009).
- Agroalfarero (900 a 1.470 DC). Existen evidencias de la presencia de la cultura Aconcagua en el humedal.
- Inca. Existen evidencias de su presencia por breves períodos de tiempo.
- Histórico. La hacienda de Bucalemu es entregada al primer encomendero: Sebastián García y Carreto, quien invita a los Jesuitas a vivir en la hacienda.
- Jesuita. Establecen un colegio en el año 1627, emplazado en el sector El Convento. La hacienda tenía una superficie de 54.000 ha en total. Los antecedentes históricos revelan que la iglesia jesuita en el convento fue destruida en tres oportunidades por terremotos, siendo el de 1730 el más importante (generó un tsunami que presumiblemente afectó seriamente la zona). Se debe destacar que el Abate Molina vivió en esta hacienda hasta su expulsión en 1778. En ese momento, la hacienda pasa a manos de Pedro F. de Balmaceda quien llega a poseer 40.000 cabezas de ganado y todos los años realizaba una gran matanza en la laguna de ese nombre para extraer sebo, cueros y charqui que se exportaba al Perú (Brito, 2009).
- En la actualidad la hacienda se encuentra parcelada y en los alrededores se desarrollan importantes actividades agrícolas, se encuentran urbanizaciones orientadas a segundas viviendas, y se realizan algunas actividades turísticas y recreacionales que afectan la biodiversidad del sistema de humedales y generan presiones hídricas que parecen estar acelerando los procesos de desecación de los cuerpos de agua.

4.2. CONSTRUCCIÓN EMBALSE RAPEL

La central hidroeléctrica Rapel (34°02'S; 71°35'W), construida en 1968, es una central hidroeléctrica compuesta por un muro de presa que es una bóveda de hormigón que tiene en su parte superior un radio de curvatura de 174 m y 350 m de largo. Su altura es de 112 m y puede embalsar 832 millones de m³ de agua, alcanzando una profundidad máxima de 90 m (Vila *et al.*, 1986). La importancia de este embalse para el humedal El Yali, es que se estima el material que conforma las dunas y la extensa playa de arena de la zona costera corresponde a material arrastrado por el río Maipo (Paskoff y Manríquez, 2004). Al encontrarse represado, este proceso ya no ocurre en forma natural desde el año 1968 (Paskoff *et al.*, 2000).

4.3. PROTECCIÓN DEL LUGAR

La Reserva Nacional El Yali se crea a través del Decreto Supremo Nº 41 de Mayo de 1996 del Ministerio de Agricultura, con una superficie de 520,37 hectáreas del humedal pertenecientes al fundo El Convento. El 2 de diciembre del mismo año es agregada como el entonces único humedal neotropical mediterráneo a la lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención Ramsar, sitio N° 878 (Fariña *et al.*, 2012). Una de las primeras medidas de conservación del lugar fue declarar un área de 37.680 hectáreas como Zona de Prohibición de Caza de anfibios, reptiles, aves y mamíferos dentro de la cuenca del estero El Yali y sus cuerpos de agua adyacentes (Decreto N° 143 del Ministerio de Agricultura). Posteriormente El Yali se declara como sitio prioritario de conservación regional a través de la Resolución Exenta N° 739/2007 "Sitios de la Estrategia Regional de la Biodiversidad, Región de Valparaíso", el plan de acción ambiental de la Provincia de San Antonio y se incorpora su zona costera como área de interés de conservación ecológico en la Macrozonificación del Borde Costero de la Región de Valparaíso (2010). En el año 2003 se conformó el Consejo Consultivo Local para la

conservación y desarrollo de la Reserva Nacional El Yali, el cual involucró la participación de actores sociales del sector público, comunitario y privado.

CONCLUSIONES

Los cordones dunares de la playa anexa al humedal El Yali son los testigos de una evolución costera compleja que resulta de la interferencia de varios factores: glacio-eustático (transgresión postglacial), tectónico (solevantamiento de la costa), sedimentario (progradación hasta la época histórica por mecanismos derivados principalmente de la erosión continental y transportados al océano por curso de agua con significativas diferencias de volumen de caudal), antrópico (en el caso de una desestabilización de los cordones internos por el sobrepastoreo). En años recientes, este último factor se ha vuelto predominante, primero con la construcción del embalse en el curso inferior del río Rapel y el desarrollo de proyectos turísticos próximos a la playa.

Punta Toro corresponde al extremo norte de la formación Navidad, cuya actividad geológica explica el alzamiento del sector, transformando antiguas lagunas costeras en las actuales lagunas interiores, como es el caso de la laguna Matanzas.

La historia natural del sistema de humedales de la cuenca El Yali sugiere que los equilibrios de este sistema son sensibles a la ocurrencia de fenómenos naturales como el tsunami del año 2010, el desarrollo del fenómeno El Niño y variabilidades climáticas en general. Es esperable, por tanto, que el cambio climático contemporáneo produzca alteraciones por el cambio del régimen hídrico forzado por precipitaciones, modificación de la temperatura ambiente y alteraciones en la zona costera por la elevación del nivel medio del mar, lo que junto a las presiones antropogénicas, ponen en riesgo su sustentabilidad a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el fondo de desarrollo Disciplinario en Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Playa Ancha. La Corporación Nacional Forestal, CONAF, contribuyó con diversos antecedentes y facilitó el desarrollo de esta investigación con el apoyo logístico.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE, B. Y GRAU, S. 2005. La laguna de Cahuil, un ejemplo de estuario estacional en Chile central. Revista de Geografía Norte Grande (33): 59 - 72.
ALBERT, F. 1900. Las dunas, o sean las arenas volantes, voladeros, arenas muertas, invasión de arenas, playas y médanos del centro de Chile: comprendiendo el litoral desde el límite norte de la provincia de Aconcagua hasta el límite sur de la de Arauco. Santiago: Anales de la Universidad de Chile, imprenta Cervantes, 229pp.
BABINGER, F. 2002. La creciente importancia medioambiental de los humedales a modo de recensión bibliográfica. Observatorio Medioambiental. Volumen (5): 333 - 347.
BARREDA, V.; ENCINAS, A. Y HINOJOSA, L.F. 2011. Polen y esporas de la Formación Navidad, Neógeno de Chile. Revista Chilena de Historia Natural (84): 341 - 355.
BARRIENTOS, S. Y KAUSEL, E. 1990. Génesis y proceso de ruptura del terremoto del 3 de marzo de 1985. Revista de Geofísica (4): 3 - 18.
BÓ, R. Y MALVÁREZ, A. 1999. Las inundaciones y la biodiversidad en humedales. Un análisis del efecto de eventos extremos sobre la fauna silvestre. En: Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica (Malvárez, A.I). Montevideo: Oficina regional de ciencia y tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe, ORCYT, pp. 140 – 161.

BRITO, J.L. 2009. San Antonio: nuevas crónicas para su historia y geografía. San Antonio: Salesianos Impresores S.A., 412 pp.

CIENFUEGOS, R.; CAMPINO, J.R.; GIRONÁS, J.; ALMAR, R. Y VILLAGRÁN, M. 2012. Desembocaduras y lagunas costeras en la zona central de Chile. En Humedales costeros de Chile (Fariña, M.J. y Camaño, A). Santiago: Ediciones UC, pp. 21 - 65.

CONTRERAS, M.; WINCKLER, P. Y MOLINA, M. 2012. Importancia del alza del nivel del mar por cambo climático en obras de ingeniería costera de Chile. Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, 124(2): 53 - 66.

CPPS. 2011. Boletín de alerta climático N° 246. Estudio Regional del Fenómeno El Niño (ERFEN), comisión permanente del pacífico sur (CPPS). Disponible en: <http://www.cenepred.gob.pe/es/cpps/2011 - bac246 - marzo.pdf> [Consulta: mayo de 2014]

DARWIN, C. 1846. Observaciones Geológicas en América del Sur. Santiago: Editorial Universitaria, redición 2011. 457 pp.

DYER, K.R. 1997. Estuaries: A Physical Introduction. New York: John Wiley & Sons, 198 pp.

ENCINAS, A.; LE ROUX, J.; BUATOIS, L.; NIELSEN, S.; FINGER, K.; FOURTANIER, E. Y LEVENU, A. 2006. Nuevo esquema estratigráfico para los depósitos marinos miopliocenos del área de Navidad (33º00'-34º30'S), Chile central. Revista Geológica de Chile, Vol. 33(2): 221 - 246.

ESTADES, C.F.; VUKASOVIC, M.A. Y AGUIRRE, J. 2012. Aves en los humedales costeros de Chile. En: Humedales costeros de Chile (Fariña, M.J. y Camaño, A). Santiago: Ediciones UC, pp. 67 - 99.

FALABELLA, F. Y PLANELLA, M.T. 1980. Secuencia cronológico - cultural para el sector de desembocadura del río Maipo. Revista Chilena de Antropología (3): 87-107.

FALABELLA, F.; PLANELLA, M.T.; ASPILLAGA, E.; SANHUEZA, L. Y TYKOT, R.H. 2007. Dieta en sociedades alfareras de Chile central: aporte de análisis de isótopos estables. Chungara, Revista de Antropología Chilena, 39(1): 5 – 257.

FALABELLA, F. Y SANHUEZA, L. 2005 - 2006. Interpretaciones sobre la organización social de los grupos alfareros tempranos de Chile central: Alcances y perspectivas. Revista de Antropología (18): 105 - 133.

FARIÑA, J.M.; ARAGONESES, N.; ARMESTO, S.; ALMAR, R.; BERTNESS, M. Y SILLIMAN, B. 2010. Cambios en la estructura de hábitat de la Laguna Albufera, Humedal El Yali (V Región), luego del tsunami del 27 de Febrero del 2010. Boletín 01 Red Universitaria Cruz del Sur, Capítulo Ciencias del Mar. Disponible en: <http://copas.udec.cl/eng/news/Boletin_RUCS_01.pdf> [consulta: Mayo de 2014].

FARIÑA, J.M.; BERTNESS, M.D.; SILLIMAN, B., ARAGONESES, N. Y GAYO, E. 2012. Historia natural y patrones ecológicos del humedal costero El Yali, Chile Central. En: Humedales costeros de Chile (Fariña, M.J. y Camaño, A). Santiago: Ediciones UC, pp. 215 - 250.

FIGUEROA, R.; NEGRETE, J. Y VELUT S. 2011. Tendencias y desafíos en la gestión de espacios naturales protegidos en el contexto de áreas metropolitanas. El caso del humedal El Yali. Revista geográfica de Valparaíso (44): 54 - 62.

FINGER, K.L.; NIELSEN, S.N.; DEVRIES, T.J.; ENCINAS, A. Y PETERSON, D.E. 2007. Paleontologic evidence for sedimentary displacement in Neogene Forearc Basins of Central Chile. Palaios (22): 3 - 16.

FRITZ, H.; PETROFF, C.; CATALÁN, P.; CIENFUEGOS, R.; WINCKLER, P.; KALLIGERIS, N.; WEISS, R.; BARRIENTOS, S.; MENESES, G.; VALDERAS-BERMEJO, C.; EBELING, C.; PAPADOPOULOS, A.; CONTRERAS, M.; ALMAR, R.; DOMINGUEZ, J. Y SYNOLAKIS, C. 2011. Field Survey of the 27 February 2010 Chile Tsunami. Pure and Applied Geophysics (168): 1989 – 2010.

GIBBONS, J.; VILINA, Y.A. Y CÁRCAMO, J. 2007. Distribución y abundancia de Cisne Coscoroba (Coscoroba coscoroba), Cisne de Cuello Negro (Cygnus melancoryphus) y del Flamenco Chileno (Phoenicopterus chilensis) en la región de Magallanes. Anales Instituto de la Patagonia (Chile), 35(2): 53 - 58.

GUSIAKOV, V. 2001. Basic Pacific tsunami catalog and database, 47BC – 2000 AD: results of the first stage of the project. ITS 2001 Proceedings, session 1, number (1-2): 263 – 274.

GUTIÉRREZ, N.M.; HINOJOSA, L.F.; LE ROUX, J.P. Y PEDROZA, V. 2013. Evidence for an Early - Middle Miocene age of the Navidad Formation (central Chile): Paleontological, paleoclimatic and tectonic implications. Adean Geology 40(1): 66 - 78.

HINOJOSA, L.F. 2005. Cambios climáticos y vegetacionales inferidos a partir de paleofloras cenozoicas del sur de Sudamérica. Revista Geológica de Chile. Vol. 32(1): 95 - 115.

HINOJOSA, L.F. Y VILLAGRÁN, C. 1997. Historia de los bosques del sur de Sudamérica I: antecedentes paleobotánicos, geológicos y climáticos del Terciario del cono sur de América. Revista Chilena de Historia Natural (70): 225 - 239.

HTDB/PAC. 2005. Historical Tsunami Database For The Pacific, 47 B.C. To Present. Intergovernmental Oceanographic Commission, Russian Foundation for Basic Research, Siberian Division Russian Academy of Sciences, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics. Disponible en: <http://tsun.sscc.ru/htdbpac/> [consulta: Mayo de 2014].

HTDB/WLD. 2011. Historical Tsunami Database for the World Ocean. Russia: Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Tsunami Laboratory, Novosibirsk, Disponible en: <http://tsun.sscc.ru/nh/tsunami.php> [consulta: Mayo de 2014].

IGM. 1984 - 1985. El terremoto del 3 de marzo de 1985 y los desplazamientos de la corteza terrestre. Revista Geográfica de Chile Terra Australis (28): 7 - 12.

JENNY, B.; MASSAFERRO, J.; VALERO-GARCÉS, B.; GEYH, M. Y RIZZO, A. 2000. Evidence of salinity changes due to marine influence during the last 3000 years in Laguna Matanzas (Central Chile) from sedimentological, geochemical and chironomid analysis. In "Paleolimnology Congress". Kingston-Canada.

LARA, O. 2000. Delimitación geomorfológica del humedal El Yali, comuna de Santo Domingo, V. Región. Santiago: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Geografía, 47pp.

LEIGHTON, G. 1985. El manejo de ecosistemas de desembocadura y de ríos y esteros. Ambiente y Desarrollo, Vol. I(2): 137 - 142.

LEIGHTON, G.; LOBO, E. Y UGARTE, R. 1987. Estructuras ambientales en los sistemas de desembocadura de ríos y esteros de la zona central de Chile (V Región). Revista de Biología Marina, Valparaíso, N°23(2): 139 - 157.

LÓPEZ-LANÚS, B. Y BLANCO, D.E. 2005. El Censo Neotropical de Aves Acuáticas 2004. Global Series N° 17. Buenos Aires: Wetlands International. 114 pp.

MACEDA, J.J.; SCHMITT, F.; BRUNO, F. Y ACEVEDO, D. 2008. Confirmación de la presencia del Playerito Menor (Calidris minutilla) en Argentina y nuevos registros para Chile central. El Hornero, Revista de Ornitología Neotropical, 23(2): 95 - 98.

MARQUET, P.A.; ABADES, S. Y BARRIA, I. 2012. Distribución y conservación de humedales costeros: una perspectiva geográfica. En: Humedales costeros de Chile (Fariña, M.J. y Camaño, A). Santiago: Ediciones UC, pp. 1 - 19.

MARTÍNEZ, M.L. 2009. Las playas y las dunas costeras: un hogar en movimiento. México: Fondo de Cultura Económica, 189pp.

MEZA, V.; CONTRERAS-LÓPEZ, M.; RIVERA, C.; JOFRÉ, C.; FIGUEROA, R.; BUSTILLOS, G.; DUARTE, N.; SOTO, E.; QUIROGA, E.; UGALDE, A.; RAMÍREZ, P. Y MIZOBE, C. 2013. Plan de Restauración Ecológica como Mecanismo de Adaptación al Cambio Climático en la Reserva Nacional El Yali, Región de Valparaíso, Informe Final. Valparaíso: Universidad de Playa Ancha - Agencia de Parques de Canadá - Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 242pp.

NOAA. 2013. Tsunami Event Database. National oceanic and atmospheric administration. National Geophysical data center. Disponible en: <http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=70&d=7> [Consulta: mayo de 2014].

NOGUERA, G. 1956. Proyecto de regadío Hacienda El Convento. Santiago: Dirección General de Aguas (DGA), Centro de Información Recursos Hídricos. 190pp.

PARRA, O.; VALDOVINOS, C.; URRUTIA, R.; CISTERNAS, M.; HABIT, E. Y MARDONES, M. 2003. Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile Central. Limnetica 22(1- 2): 51 - 83.

PASKOFF, R.; MANRÍQUEZ, H.; CUITIÑO, L. Y PETIOT, R. 2000. Características, origen y cronología de los cordones dunares de la playa Santo Domingo, Región de Valparaíso, Chile. Revista Geológica de Chile (27): 121 - 131.

PASKOFF, R. Y MANRÍQUEZ, H. 2004. Las dunas de las costas de Chile. Santiago: Instituto Geográfico Militar, 112 pp.

QUEZADA, J.; JAQUE, E.; BELMONTE, A.; FERNÁNDEZ, A.; VÁSQUEZ, D. Y MARTÍNEZ, C. 2010. Movimientos cosísmicos verticales y cambios geomorfológicos generados durante el terremoto Mw = 8,8 del 27 de febrero de 2010 en el centro – sur de Chile. Revista Geográfica del Sur (2): 11 – 45.

RAIMILLA, V. 2012. Primer registro documentado del salteador pardo (Stercorarius antarticus (Lesson, 1831) (Stercorariidae) para las costas del Pacífico desde el archipiélago Diego Ramírez, sur de Chile. Anales instituto de la Patagonia (Chile), 40(2): 151 - 154.

RAYMO, M.E.; MITROVICA, J.X.; O'LEARY, M.J.; DECONTO, R.M. Y HEARTY, P.J. 2011. Departures from eustasy *In*: Pliocene sea-level records. Nature Geoscience (4): 328–332.

RASEK, A. Y RIVEROS, G. 2006. Comunidad invernal de aves en la desembocadura del río Aconcagua (V Región, Chile). Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso (25): 57 - 64.

RIVAS, P. Y GONZÁLEZ, J. 2008. Las Brisas - 3, sitio agroalfarero temprano en Santo Domingo, V región, Chile. CLAVA (7): 27 - 49.
RIVEROS, G.; SEREY, I. Y DROUILLY, P. 1981. Estructura y diversidad de la comunidad de aves acuáticas de la laguna El Peral, Chile central. Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso (14): 189 - 196.
RUBIO, A. Y BASIC, B. 2011. Investigación de impactos ambientales post tsunami Chile 2010 en la laguna Albufera perteneciente al humedal El Yali (33°45'30''S). Valparaíso: Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Ambiental y al Grado Académico de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería. Facultad de Ingeniería, Universidad de Playa Ancha, 165pp.
SALLABERRY, M. Y MANN, M. 2007. Sanderlings (Calidris alba) banded in Canada recovered in Chile. Ornitología neotropical (18): 623 - 626.
SCHMITT, F. Y BARROS, R. 2009. Nuevos avistamientos del Playero Semipalmado (Calidris pusilla) y Playero Occidental (Calidris mauri) en Chile central. Boletín chileno de ornitología, 15(1): 29 - 34.
SILVA-GARCÍA, C.M. Y BREWER, G.L. 2007. Breeding behavior of the Coscoroba swan (Coscoroba coscoroba) in El Yali wetland, central Chile. Ornitología neotropical (18): 573 - 585.
STUARDO, J. Y VALDOVINOS, C. 1989. Estuarios y Lagunas Costeras: Ecosistemas importantes del Chile Central. Ambiente y Desarrollo. V(1): 107 – 115.
SCOTT, D. Y CARBONELL, M. 1986. Inventario de Humedales de la región Neotropical (Eds.). Cambridge: IWRB Slimbridge IUCN, 714 pp.
SUÁREZ, M.E.; ENCINAS, A. Y WARD, D. 2006. An Early Miocene elasmobranch fauna from the Navidad Formation, Central Chile, South America. Cainozoic Research (4): 3 - 18.
UPLA. 2013. Ejecución Temprana de Restauración Ecológica y un Sistema de Alerta Ambiental como Mecanismo de Adaptación al Cambio Climático en la Reserva Nacional El Yali, Informe Final, Región de Valparaíso. Valparaíso: Universidad de Playa Ancha - Ministerio del Ambiente, 162pp.
VALDOVINOS, C. 2004. Ecosistemas estuarinos. En: Biología Marina y Oceanografía: conceptos y procesos Tomo II (Werlinger, C). Concepción: Universidad de Concepción, pp. 397 – 414.
VALERO-GARCÉS, B.; LATORRE, C.; MORELLÓN, M.; CORELLA, P.; MALDONADO, A.; FRUGONE, M. Y MORENO, A. 2010. Recent climate variability and human impact from lacustrine cores in central Chile. Valdivia: II International Symposium PAGES.
VILA, I.; MONTECINO, V. Y MUHLHAUSER, H. 1986. Diagnóstico y evaluación del potencial biológico de lagos naturales y artificiales de Chile central. Ambiente y Desarrollo, Vol. II(1): 127 - 137.
VILINA, Y.A. 1994. Apuntes para la conservación del humedal "El Yali". Boletín Chileno de Ornitología (1): 15 - 20.
VILLA-MARTÍNEZ, R.P. 2002. Historia del clima y la vegetación de chile central durante el holoceno: una reconstrucción basada en el análisis de polen, sedimentos, microalgas y carbón. Santiago: Tesis de Doctorado, Universidad de Chile, 350pp.
WALL, R.; GANA, P. Y GUTIÉRREZ, A. 1996. Geología de la Hoya Santiago, área de San Antonio-Melipilla, regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos 2, escala 1:1.000.000
YÁÑEZ – ARANCIBIA, A. 1986. Ecología de la Zona Costera: análisis de siete tópicos. México: AGT editor, S.A., 189 pp.

CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS Y MINERALÓGICAS DE PLAYA EL YALI, REGIÓN DE VALPARAÍSO.

Hernán Vergara Cortés (*)

RESUMEN

Se describen las características sedimentológicas de arenas de playa de la localidad de El Yali, comuna de Santo Domingo, Chile central, basado en 33 muestras de sedimentos obtenidos a lo largo de 13 perfiles perpendiculares a la línea de playa con una cobertura de 10,6 km longitudinales de playa.

Las muestras fueron colectadas en dos campañas de terreno y se analizaron desde el punto de vista granulométrico y mineralógico, que permitieron caracterizar su tamaño promedio, presencia de minerales pesados y livianos y grado de transporte en el medio acuático, teniendo en cuenta que el transporte es función del tamaño y densidad de los sedimentos de playa.

El tamaño predominante corresponde a arena fina, mientras que el mineral pesado que prevalece es la magnetita la cual presenta una buena clasificación; esto sugiere un largo trayecto recorrido desde su fuente de origen hasta su sitio de depositación.

El análisis comparativo efectuado en base al tamaño y la mineralogía de los sedimentos de playa de El Yali sugiere provenir mayoritariamente del río Rapel.

PALABRAS CLAVES

El Yali, tsunami, sedimentos de playa, granulometría, mineralogía.

ABSTRACT

Sedimentological characteristics of the sands from El Yali beach, municipality of Santo Domingo, central Chile, based on 33 sediment samples collected along 13 profiles perpendicular to the beach with a coverage of 10.6 km of beach are described.

Samples were collected in two field campaigns and analyzed from the grain size and mineralogical point of view, which allowed to characterize their average size, presence of heavy and light minerals and littoral transport rate based on textural conditions, considering the transport rate is a function of grain size and density of the beach sediments.

The predominant size is fine sand, while the heavy mineral sediments prevailing are magnetite and have a good rating, suggesting a long way from its origin to their place of deposition.

Comparative analysis carry out on the basis of grain size and mineralogy data suggests mainly come from the Rapel river.

KEYWORDS

El Yali, tsunami, beach sediments, grain size, mineralogy.

*Académico, Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso,
Casilla 5080, Reñaca, Viña del Mar. Correo electrónico hernan.vergara@uv.cl

INTRODUCCIÓN

El 27 de febrero de 2010 ocurrió un sismo que afectó a regiones del centro-sur de Chile y cuya magnitud 8,8 originó un tsunami que se propagó con serias consecuencias. En la región de Valparaíso la localidad El Yali, en la comuna de Santo Domingo fue la más afectada (Rubio y Basic, 2011; Fariña *et al.*, 2010). La onda penetró al interior en promedio más de 1 km, ocasionando la pérdida total del equilibrio de su ecosistema costero. Mayores antecedentes respecto a este tópico, se encuentran en el acápite III.2.2. de Contreras *et al.*, en este volumen.

En la Reserva Nacional El Yali (en adelante RNEY) se realizó un proyecto multidisciplinario tendiente a evaluar los daños y planificar su recuperación. En ese contexto se desarrolló un estudio dirigido a elaborar una metodología que permitiera reconstruir artificialmente el campo dunar, erosionado tanto por la embestida de la onda del tsunami como por el trabajo de reptación de las aguas que volvieron al océano. Transcurrido más de tres años de tal desastre, es evidente que no hubo la renovación natural del prisma sedimentario costero tal como ocurrió en otras playas, por ejemplo, aquellas localizadas al norte de la desembocadura del río Mataquito, Región del Maule, afectadas por el mismo fenómeno.

Este artículo está focalizado en la información base obtenida para el proyecto antes citado, relacionada con el prisma sedimentario existente en el sector de playa de la RNEY (Figura 1). Debido a que las dunas costeras constituían una barrera protectora natural de la laguna costera de El Yali, tal información permitiría responder también a una pregunta importante: ¿de dónde provienen los sedimentos costeros presentes en la RNEY, que se extienden hasta Santo Domingo?, por cuanto el área de estudio se sitúa entre dos de los principales ríos de la Región de Valparaíso: Maipo y Rapel.

La respuesta a esta incógnita permitirá entender porqué el volumen de sedimentos erosionados no han sido recuperados, por cuanto no se ha cumplido la usual ciclicidad anual de toda playa, es decir, que en determinada época del año las olas de temporal erosionan las playas transportando importantes volúmenes de sedimentos al fondo marino de la plataforma continental, mientras que las olas de buen tiempo, de menor altura y energía cinética, le permiten alcanzar nuevamente su perfil de equilibrio.

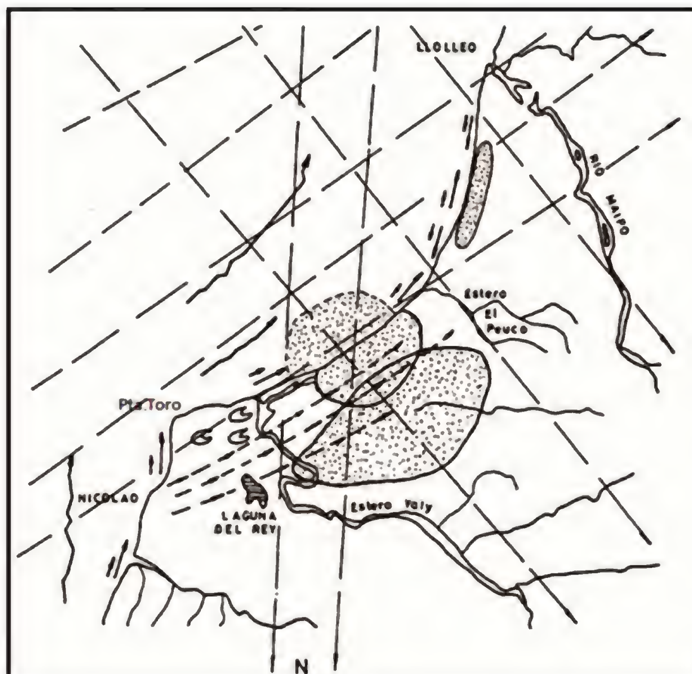


Figura 1. Plano de ubicación y detalles del campo sedimentario. Las flechas cercanas a la línea de costa indican la dirección del transporte litoral de los sedimentos a lo largo de la costa. Los sectores ovalados con puntos finos en su interior representan la presencia significativa de magnetita en los sedimentos.

MÉTODOS Y MATERIALES
SEDIMENTOLOGÍA
MUESTREO

Durante el trabajo desarrollado el 30 de agosto y 16 de septiembre de 2013, se obtuvieron 33 muestras siguiendo la metodología de muestreo de Anam (1969) y Hayes *et al*. (1973) y que fuera aplicada anteriormente por el autor (Vergara y Valenzuela, 1981; Vergara e Hickmann, 1982). El procedimiento consiste en la obtención de 2 a 3 muestras superficiales de arena a lo largo de un perfil perpendicular a la orientación de la playa, obteniendo 1 muestra correspondiente a la cara de la playa (A) y dos pertenecientes a la berma (B y C); en este estudio hubo una separación de 60 m entre A, B y C. En sentido paralelo a la línea de playa hubo una separación de 800 m entre perfil y perfil. En la Fig. 2 se muestra una imagen indicando el perfilamiento a lo largo del cual se obtuvieron las muestras.

Todas las muestras fueron georeferenciadas mediante un posicionador satelital portátil Garmin (datum WGS 84, huso 19) y el intervalo entre ellas a lo largo del mismo perfil se midió con huincha. La distancia entre perfil y perfil se midió utilizando el cuentakilómetros del vehículo empleado como transporte durante la actividad de terreno. Las muestras se almacenaron en bolsas plásticas convenientemente etiquetadas (identificación de la muestra, fecha y hora). Considerando todo ello, en la primera etapa de muestreo se establecieron 13 perfiles partiendo desde las cercanías del estero El Yali hasta la desembocadura del estero El Peumo, con una cobertura total de 10,6 km longitudinales de playa.

Figura 2.- Perfiles de muestreo de sedimentos de playa. (Fuente: imagen Google Earth con elaboración propia)



GRANULOMETRÍA

En laboratorio, las muestras con humedad fueron secadas en una mufla de laboratorio a 40°C y luego se utilizaron 100 g para el tamizaje, empleando un juego de tamices cuyo diámetro de mallas fluctuaba entre -4ø (gravas gruesas) y +4ø (arena muy fina) y en que el intervalo entre cada tamiz era de una unidad fi (ø), todo ello de acuerdo al método de Wentworth (1922). En cada caso, una vez efectuada la separación por tamaño, se pesaron en una balanza electrónica marca Sartorius modelo LA2000P con una exactitud de 0,003 g.

Para cada una de las muestras, los juegos de tamices fueron agitados en un Ro-Tap. Finalizada esta etapa, la fracción retenida en cada tamiz fue pesada y el dato anotado en el formulario de análisis granulométrico (Vergara, 1991).

TRANSPORTE

Bajo lupa binocular se analizaron las muestras para visualizar el grado de transporte de las partículas, lo cual se aplicó el gráfico de la Fig. 3 como elemento de comparación de la escala de esfericidad. Este último aspecto es importante considerando que el agua líquida fue el agente que transportó los sedimentos y al interactuar ambos, el agua desgasta y suaviza los clastos tendiendo éstos a una mayor semejanza a una esfera mientras mayor distancia recorrieron respecto a su fuente de origen y mayor angulosidad mientras menor distancia desde su origen hayan sido desplazados.



Figura 3.- Gráfico de esfericidad de clastos no cohesivos transportados por el agua.

MINERALOGÍA

La determinación macroscópica de minerales siguió la siguiente metodología: del análisis granulométrico explicado con anterioridad se consideró la fracción retenida en el tamiz correspondiente a las arenas muy finas. En el caso del área de estudio, coincidió con que la mayor parte de los sedimentos correspondían a este tamaño, razón por la cual el análisis mineralógico contó con un universo de clastos muy importantes con respecto al total de la muestra. La magnetita (Fe_3O_4), por su origen ferroso, es fácilmente detectable con un imán y al pasar el imán sobre arenas de todas las muestras permitieron efectuar su ubicación espacial (sectores ovalados) en la Figura 1.

La separación de los minerales magnéticos que tienen una intensidad de 0.2ª, que es equivalente a la del imán de mano, la separación fue aceptable. De la fracción no magnética de esta malla se cuartearon 4 g que fueron pasados por bromoformo para separar así los minerales pesados. El bromoformo usado es químicamente puro, de densidad entre 2,88 y 2,89 g/cm^3.

El resto de la mineralogía correspondiente a minerales livianos (cuarzo, feldespato, mica y otros) fueron identificados directamente al microscopio. Se cuartearon 4 g de la misma muestra y se puso sobre un porta-objeto para su análisis. Junto con la identificación de los minerales no pesados se calculó el porcentaje de su presencia en la muestra siguiendo el procedimiento de Terry y Chillingar (1955) que se muestra en la Fig. 4.

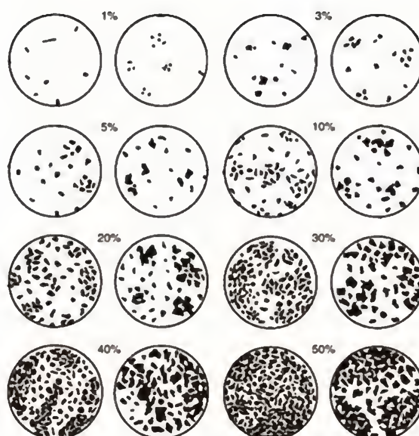


Figura 4.- Gráfico para comparación y estimación visual de porcentajes (según Terry y Chilingar, 1955)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN
MARCO GEOGRÁFICO

La localidad de El Yali se encuentra al sur de Llolleo (Figura 1). La longitud del área de estudio entre la desembocadura del Estero El Peuco por el norte y Punta Toro por el sur, es de 14,5 km. Elemento importante en la zona costera es Punta Toro, en donde hay afloramientos principalmente de rocas graníticas, lo cual hace muy resistente el sector a la erosión marina.

En una visión costa-mar, desde Punta Toro hacia el norte, la costa describe una gran curvatura convexa en una línea de costa que no tiene quiebres importantes, con ciertas similitudes a los descritos por Soto y Madariaga (2007). También se reconocen algunos afloramientos rocosos aislados en la playa, los que ocasionan pequeños cambios locales en la dirección de la línea de

costa. Otro afloramiento granítico de importancia significativa se sitúa en La Punta –fuera del área de estudio – que dan el nombre al balneario Rocas de Santo Domingo.

ASPECTOS GEOLÓGICOS

En un contexto regional, en la zona afloran principalmente rocas del basamento metamórfico y granítico. El basamento metamórfico está constituido principalmente por anfibolitas y gneises (Corvalán y Munizaga, 1972), que representa la mayor parte de los afloramientos costeros del área que están siendo erosionados por el mar. No obstante, gran parte del área costera está ocupada por el basamento granítico perteneciente al batolito de la costa (Corvalán y Munizaga, 1972, op. cit.) que en algunos sectores adquiere un carácter tonalítico. Sobre el basamento cristalino se depositan amplios depósitos sedimentarios cuaternarios de diferentes espesores. En las vecindades de Santo Domingo es frecuente encontrar remanentes de niveles marinos aterrazados correspondientes al cuaternario antiguo (Corvalán y Dávila, 1964).

A modo de ejemplo, debe citarse que al interior del área de estudio, en las cercanías de Laguna La Colejuda se encuentra un bloque conformado principalmente por gneis de un tamaño aproximado a 3,5 m de largo por 2 m de alto máximo, lo que debería corresponder al basamento que subyace a toda la RNEY (Figura 5).



Figura 5.- Bloque de gneis representativo del basamento metamórfico situado en Laguna La Colejuda (33°45' 51"S - 71°42' 04" O) Fuente: fotografía del autor, agosto 2013.

MORFOLOGÍA

Considerando globalmente el sector costero, entre la desembocadura del río Maipo y Punta Toro se encuentra el litoral compuesto por una playa cuya anchura fluctúa entre 60 y 90 m de ancho, que previo al tsunami constituía un cordón de dunas de poca altura. Los depósitos sedimentarios están dispuestos formando una especie de meseta de unos 500 x 800 metros situado a una cota de 2 a 5 metros sobre el nivel del mar.

La morfología del sector costero es muy variable. Tras el trabajo de campo fue posible reconocer 2 sub-sectores morfológicos:

a) Entre el sector Las Brisas y la desembocadura del estero El Yali, y
b) Entre el estero El Yali y Punta Toro.

Desde Las Brisas hasta la desembocadura del estero El Yali desaparece el acantilado costero (ya citado para el sector de Santo Domingo) dejando esta zona sin protección del viento, elemento que junto al oleaje suelen ser importantes en cuanto al transporte de sedimentos a lo

largo de la costa. Cabe destacar que los tradicionales barjanes (Paskof *et al*. 2000), bien desarrollados hasta antes del tsunami, a septiembre del 2013 no habían recuperado su perfil de equilibrio transcurridos más de 3 años de ocurrido el evento natural, a diferencia, por ejemplo, del sector situado al norte de la desembocadura del río Mataquito, en la Región del Maule, también afectado por el mismo evento.

Al sur del Estero El Yali y hasta Punta Toro hay una morfología muy diferente a las descritas anteriormente, por cuanto se reconocen formas propias de un ambiente de alta energía mecánica. A modo de ejemplo, en algunos lugares de este sector se observaron clastos de hasta 20 cm de diámetro, bien redondeados y con diferentes grados de aplanamiento, lo que sugiere su largo tiempo sujetos al transporte del oleaje.

GRANULOMETRÍA Y GRADO DE TRANSPORTE

La granulometría del área de estudio, comprendido entre la desembocadura del estero El Yali y las cercanías de la desembocadura del estero El Peumo (Tabla 1), indica claramente un predominio de las arenas finas (85%), seguidas por arenas muy finas (9%) y de arenas de tamaño mediano (6%). Asimismo, la última columna de la Tabla 1 indica el grado de clasificación que tienen las partículas, información que se obtiene según la fórmula de Folk (1974) para el cálculo del tamaño promedio de las partículas.

El concepto *Buena clasificación* implica -de acuerdo a la Figura 3- que las partículas muestran una fluctuación entre *redondeado* y *bien redondeado,* de lo que conjuntamente con el tamaño de los clastos, permite inferir un larga presencia en el ambiente acuático transportado tanto por el oleaje como las corrientes de deriva litoral.

Finalmente, un aspecto también considerado fue investigar de donde provienen los sedimentos de la playa. Se obtuvieron dos muestras desde el río Rapel (Fig. 6) y con el apoyo de la Carta Geológica de Chile (SERNAGEOMIN 2003) que muestra diversos tipos de rocas que se hallan en la ruta del río, se compararon las muestras con las obtenidas en el sector costero de la RNEY. Un estudio preliminar bajo lupa binocular sugiere que las arenas de playa El Yali tienen su origen en el material transportado por el río. El hecho que el río Rapel fuera represado para constituirse en 1968 en una central hidroeléctrica, es comprensible que la playa no haya tenido una recuperación natural al igual que otras áreas similares afectadas por el tsunami, debido a que los volúmenes de sedimentos aportados por el río en el mar disminuyeron drásticamente por 42 años.



Figura 6.- Uno de los sitios a orillas del Rapel inferior, donde se obtuvo una de las muestras obtenidas para análisis comparativo.

Tabla 1.- Tamaño y grado de transporte por el oleaje de los sedimentos de playa El Yali.

FECHA	MUESTRA	LATITUD SUR	LONG. OESTE	TAMAÑO (mm)	NOMBRE	CLASIFICACIÓN
30.08.2013	EY-01-B	33° 45.913'	71° 44.800'	0.120	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-01-C	33° 45.926´	71° 44.787'	0.126	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-02-B	33° 45.937'	71° 44.709'	0.143	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-02-C	33° 45.900'	71° 44.698'	0.248	Arena fina	Moderada
30.08.2013	EY-03-B	33° 45.815'	71° 44.595'	0.151	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-03-C	33° 45.873'	71° 44.577'	0.167	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-04-A	33° 45.766'	71° 44.489'	0.201	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-04-B	33° 45.793'	71° 44.468'	0.210	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-04-C	33° 45.815'	71° 44.449'	0.199	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-05-A	33° 45.696'	71° 44.365'	0.213	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-05-B	33° 45.722'	71° 44.340'	0.244	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-05-C	33° 45.748'	71° 44.318'	0.232	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-06-A	33° 45.625'	71° 44.253'	0.130	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-06-B	33° 45.650'	71° 44.229'	0.200	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-06-C	33° 45.676'	71° 44.206'	0.247	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-07-A	33° 45.543'	71° 44.111'	0.130	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-07-B	33° 45.569'	71° 44.086'	0.155	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-07-C	33° 45.596'	71° 44.044'	0.165	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-08-A	33° 45.481'	71° 43.951'	0.148	Arena fina	Buena
30.08.2013	EY-08-B	33° 45.508'	71° 43.932'	0.261	Arena mediana	Buena
30.08.2013	EY-08-C	33° 45.536'	71° 43.910'	0.238	Arena fina	Moderada
16.09.2013	EY-09-A	33° 45.444'	71° 43.861'	0.117	Arena muy fina	Buena
16.09.2013	EY-09-B	33° 45.470'	71° 43.847'	0.240	Arena fina	Buena
16.09.2013	EY-09-C	33° 45.492'	71° 43.818'	0.243	Arena fina	Buena
16.09.2013	EY-10-A	33° 45.275'	71° 43.548'	0.159	Arena fina	Buena
16.09.2013	EY-10-B	33° 45.299'	71° 43.520'	0.236	Arena fina	Buena
16.09.2013	EY-10-C	33° 45.310'	71° 43.504'	0.350	Arena mediana	Moderada
16.09.2013	EY-11-A	33° 45.125'	71° 43.269'	0.110	Arena muy fina	Buena
16.09.2013	EY-11-B	33° 45.148'	71° 43.243'	0.214	Arena fina	Buena
16.09.2013	EY-12-A	33° 45.945'	71° 42.940'	0.210	Arena fina	Buena
16.09.2013	EY-12-B	33° 45.970'	71° 42.915'	0.223	Arena fina	Buena
16.09.2013	EY-13-A	33° 45.761'	71° 42.608'	0.115	Arena muy fina	Buena
16.09.2013	EY-13-C	33° 44.786'	71° 42.585'	0.225	Arena fina	Buena

MINERALOGÍA

De acuerdo a lo expresado anteriormente, se sometieron a análisis los componentes de la fracción fina. La Figura 7 tipifica las muestras de color oscuro que predominan en la playa, sin considerar la parte permanentemente húmeda de la cara de la playa.



Figura 7.- Fotografía de una de las muestras analizadas con lupa binocular. Fuente: fotografía tomada por el autor

El predominio del color oscuro se debe a la presencia de minerales pesados. En otra visita posterior se muestreó aleatoriamente una zona más extensa hacia el norte, varios kilómetros más allá de los límites costeros de la RNEY. La presencia de minerales pesados está delimitado a un sector donde se producen las condiciones de energía más favorables a la concentración de tales minerales, lo que ocurre entre el estero El Peuco y la desembocadura del estero El Yali (prácticamente coincidente con la RNEY) y los minerales son magnetita, ilmenita, cromita y zircón (Tabla 2). Los minerales livianos presentes en las muestras y sus respectivos porcentajes son: cuarzo 31 %, feldespato 22 % y biotita 4 %.

Tabla 2.- Presencia de minerales pesados en arenas de playa El Yali.

MINERALES	PRESENCIA (%)	DUREZA Escala de 1 a 10	DENSIDAD g/cm^3
MAGNETITA	39	5,5 - 6,5	5,2
ILMENITA	2	5,5 - 6	4,7
CROMITA	1	5,5 - 6	4,5 - 4,8
ZIRCÓN	0,5	7,5	4,6 - 4,7
Total	42,5		Denidad media de los minerales: 2,67 g/cm^3

Cabe destacar la presencia significativa de magnetita en las arenas muestreadas (Fe3O4), un mineral de hierro constituido por óxido ferroso y considerado como metal pesado (peso específico fluctuante entre 4,9 y 5,2 gr/cm^3) y una dureza que fluctúa entre 5,5 y 5,6 de acuerdo a la escala de dureza de Mohs que va de 1 a 10.

CONCLUSIONES

a) Los sedimentos de la playa El Yali tienen un tamaño predominante de arenas finas. Perpendicularmente a la línea de costa, la granulometría indica una disminución del tamaño de los sedimentos desde la berma (muestras C) hacia la cara de la playa (muestra A).

b) En cuanto a la mineralogía, los sedimentos de la playa localizada frente a la RNEY tiene una significativa presencia de minerales pesados, principalmente magnetita. Otros minerales pesados son ilmenita, cromita y zircón, con una presencia minoritaria.

c) El análisis comparativo al microscopio de muestras de playa y del río, respecto al grado de transporte y mineralogía sugiere que la fuente principal de los sedimentos de la playa frente a la RNEY lo constituye el río Rapel. Adicionalmente a ello, la deriva litoral de los sedimentos cuya componente predominante es sur-norte, sustenta lo aseverado en cuando a su vinculación.

AGRADECIMIENTOS

A la Prof. Verónica Meza y a los Biólogos Marinos Pablo De Kartzow y Raiza Carvajal, por su valioso apoyo en el trabajo de terreno. Al Sr. Iván Velázquez, a cargo de la Reserva Nacional El Yali (CONAF) por su permanente colaboración.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Playa Ancha, que desarrolló el proyecto "Ejecución temprana de restauración ecológica y un sistema de alerta ambiental como mecanismo de adaptación al cambio climático en la Reserva Nacional El Yali, Región de Valparaíso", que permitió al autor elaborar este artículo a partir de la información previamente obtenida en terreno.
También se agradece al revisor anónimo de este artículo, cuyas recomendaciones contribuyeron a optimizar significativamente el documento.

BIBLIOGRAFÍA

ANAN, FS. 1969. Grain-size parameters of the beach and dunes sands, northeastern Massachusetts and New Hampshire coasts. *En*: Coastal Environments NE Massachusetts and New Hampshire, Contribution N° 1, Coastal Research Group, University of Massachusetts, p. 266-280.
CONTRERAS-LÓPEZ, M, H VERGARA Y R FIGUEROA. 2014. Elementos de la Historia Natural del sistema de humedales El Yali, Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso; en este volumen.
CORVALÁN, J Y A DÁVILA. 1964. Geomorfología de Valparaíso y regiones adyacentes. *En*: Actas Primer Congreso Nacional de Geógrafos, Universidad Católica de Valparaíso, Serie C, Nº 12, Valparaíso.
CORVALÁN, J Y F MUNIZAGA. 1972. Edades radiométricas de rocas intrusivas y metamórficas de la Hoja Valparaíso-San Antonio. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín N° 28, 40 p., 1 mapa, Santiago de Chile.
FARIÑA, J.M.; ARAGONESES, N.; ARMESTO, S.; ALMAR, R.; BERTNESS, M. Y SILLIMAN, B. 2010. Cambios en la estructura de hábitat de la Laguna Albufera, Humedal El Yali (V Región), luego del tsunami del 27 de Febrero del 2010. Boletín 01 Red Universitaria Cruz del Sur, Capítulo Ciencias del Mar.
FOLK,RL. 1974. Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 182 p.

HAYES, MO, EH OWENS, DH HUBBARD Y RW, ABELE. 1973. The investigation of form and processes in the coastal zone. *En*: Coates, D.R., editor, Coastal geomorphology, Procedings 3rd Annual Geomorphology Symposia Series, Binghampton, N.Y., p, 11-41.
PASKOFF, R, H MANRÍQUEZ,L CUITIÑO Y R PETIOT. 2000. Características, origen y cronología de los cordones dunares de la playa Santo Domingo, Región de Valparaíso, Chile. Revista Geológica de Chile (27):121-131.
RUBIO, A. Y BASIC, B. 2011. Investigación de impactos ambientales post tsunami Chile 2010 en la laguna Albufera perteneciente al humedal El Yali (33°45'30"S). Valparaíso: Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad de Playa Ancha, 165 p.
SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. 2003. Mapa Geológico de Chile. Publicación Geológica Digital N° 4, CD-ROM versión 1.0, base geológica escala 1: 1.000.000
SOTO, MV & J ARRIAGADA. 2007. Características dinámicas de ensenadas estructurales de Chile central: Maitencillo-Cachagua, Región de Valparaíso. Revista Geográfica Norte Grande, Santiago, 38: 99-112.
TERRY, RD Y GV CHILINGAR. 1955. Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations" by M. S. Shvetsov. Journal of Sedimentary Petrology, vol. 25, p. 229–234.
VERGARA, H & E VALENZUELA, 1981. Sedimentación reciente en playas de Valparaíso, V Región. Revista de Biología Marina, 17 (2):253-266.
VERGARA,H Y V HICKMANN.1982. Fluctuación anual de la morfología y granulometría de playa Las Salinas, Viña del Mar, V Región. Actas III Congreso Geológico Chileno, Tomo I, página C114 – C131, Universidad de Concepción, 8-14 noviembre 1982.
VERGARA, H. 1991. Manual de laboratorio para sedimentología. Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 44 p.
WENTWORTH, CK. 1922. A scale of grade and classterm for clastic sediments. Journal of Geology, 30 (5):377-392.

EFECTOS DEL TERREMOTO Y TSUNAMI DEL 27 DE FEBRERO DE 2010 EN LA RESERVA NACIONAL EL YALI

Manuel Contreras-López[1]

RESUMEN

El presente trabajo reporta los efectos sobre la Reserva Nacional El Yali que tuvo el terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010, que afectó la costa centro – sur de Chile. Se inundaron 800 hectáreas del terreno de playa contiguo a la desembocadura del estero El Yali en el sur de Santo Domingo. La zona inundada incluyó 200 hectáreas protegidas, donde se encontraba la Albufera de la Reserva Nacional El Yali. Uno de los principales efectos de la onda de tsunami fue la destrucción de la barra de arena estuarina y de 22 hectáreas de dunas de arena que protegían la Albufera de las mareas y oleaje. También se produjo el depósito de unas 20 toneladas de residuos sólidos, la muerte de vegetación en la zona inundada y una disminución momentánea de la diversidad y abundancia de aves que habitan el sitio. La ausencia de precipitaciones durante los años 2010 a 2013, y el incremento de marejadas; facilitó la segmentación de la laguna en dos cuerpos de agua independientes y separados por 500 metros, uno de los cuales tendió a desaparecer posteriormente.

PALABRAS CLAVES

Sitios Ramsar, Chile Central, residuos sólidos

ABSTRACT

This paper reports the effects on Reserva Nacional El Yali of the earthquake and tsunami of February 27, 2010, which affected the central coast - south of Chile. 800 hectares of land adjacent to the mouth of the estuary The Yali in the south of Santo Domingo beach were flooded. The flooded area included 200 hectares protected, where the Albufera of Reserva Nacional El Yali was. One of the main effects of the tsunami wave was the destruction of estuarine sand bar and 22 hectares of sand dunes that protected the lagoon from the tides and waves. There was also a tank of 20 tons of solid waste, the death of vegetation in the flooded area and a momentary decrease in the diversity and abundance of birds that inhabit the site. The lack of rainfall during the years 2010 to 2013, and increased storm surges; facilitated the segmentation of the lake into two separate bodies of water and separated by 500 meters, one of which tended to disappear later.

KEY-WORD

Ramsar Sites, Central Chile, solid waste

[1] Académico Facultad de Ingeniería Universidad de Playa Ancha e investigador Centro de Estudios Avanzados, e-mail: manuel.contreras@upla.cl

INTRODUCCIÓN

El 27 de febrero del año 2010 a las 3:34 A.M. (hora local) un gran terremoto de subducción Mw = 8,8 afectó a Chile central. Este terremoto se originó debido al desplazamiento súbito de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. El Yali se encuentra cerca del límite norte del área de ruptura, que comprendió entre Valparaíso (33º S) y el sur de Isla Mocha (38,6º S), con una extensión superior a 610 km (Quezada *et al.*, 2010) alineado con la línea de costa, y un ancho promedio de 150 km (Barrientos, 2010), afectando un área estimada de 82.500 km^2 (Pararas-Carayannis, 2010).

Resultados preliminares estiman un desplazamiento cercano a los 10 m en el contacto interplaca (Barrientos, 2010). La ruptura se puede subdividir en dos segmentos (Quezada *et al.*, 2010; Delouis *et al.*, 2010; Lorito *et al.*, 2011), uno de los cuales comienza desde las cercanías de Chanco (35,8°S) y prosigue en dirección SSW hasta el sur de la Isla Mocha (38,6°S); mientras el otro se inicia en las cercanías de Constitución (35,3°S) y prosigue en dirección NNE hasta el sur de Valparaíso (33°S).

Como consecuencia de los importantes movimientos verticales que generó el terremoto, un tsunami destructor impactó toda la zona centro – sur de Chile (Tirúa – Llolleo) arrasando con varias localidades ya devastadas por el sismo, y con efectos visibles entre Corral y Coquimbo, propagándose además por el océano Pacífico con efectos visibles, pero no destructores, en Islas Galápagos (Moreano *et al.*, 2012), México, Hawaii y Nueva Zelandia (NOAA, 2013). Se reportaron daños en embarcaciones y un muelle en San Diego, California, e inundaciones en el norte de Japón (Pararas-Carayannis, 2010). En el litoral de Chile, las localidades más afectadas fueron: Talcahuano, Constitución, Dichato, Llolleo, Tubul y Llico. Sufrieron daños significativos: Tirúa, Coliumo, Vegas de Itata, Chanco e Iloca entre otras muchas localidades costeras que experimentaron algún daño. En El Yali no hubieron testigos que den cuenta de lo ocurrido aquella madrugada, sin embargo los guardaparques de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) pudieron constatar a los dos días los efectos destructores del tsunami sobre el área protegida. En la figura 1 se muestra el emplazamiento de la Reserva Nacional El Yali en el sur de la región de Valparaíso y las principales localidades de su entorno mencionadas en el presente trabajo.

Fritz *et al.* (2011), reporta mediciones de *runup* y profundidades de inundación en el sector (3 puntos). Contreras-López (2014) estima en 800 hectáreas la superficie inundada en las inmediaciones de la desembocadura del estero El Yali, de las cuales 200 hectáreas corresponden al área protegida. Fariña *et al.* (2010), precisan que previo al tsunami, el área de la Albufera contenía cuatro tipos de ambientes: a) Playa de Arena con 1,4 ha, b) Duna con 1,2 ha, c) Zona de vegetación del humedal con 5 ha y d) una zona de matorral costero (10 ha). Estos autores indican que el ordenamiento de las especies de plantas en la zona respondían a las variaciones en los niveles de salinidad y la frecuencia de inundación de la laguna. Detectaron que el ingreso furtivo de ganado era responsable del consumo de plantas, afectando su distribución y cobertura. El arribo del tsunami causó que la zona de dunas y parte de la playa casi desaparecieran esparciéndose toda su arena sobre la laguna y el hábitat de matorral localizado en la porción más oriental de la laguna. La línea costera de la playa avanzó unos 70 metros tierra adentro y la laguna se hizo 30 metros más ancha, creándose varios puntos de conexión con el mar. Como consecuencia, la vegetación del humedal fue prácticamente barrida o sepultada bajo arena a excepción de las zonas en las que se había excluido al ganado furtivo. La conexión permanente de la laguna con el mar produjo variaciones importantes en la salinidad de la laguna, gatillando que muchas de las especies de aves que era común ver en la zona de la laguna hayan emigrado.

Según Fariña *et al.* (2010), el sistema playa de arena - duna - humedal en la zona costera de El Yali sirvió de protección natural frente al tsunami deteniendo y aminorando el efecto de las olas y dando cuenta de un aspecto muy poco considerado en el manejo ambiental de este tipo de ecosistema; estos sistemas son muy importantes de mantener en estado prístino. Por últimos estos autores concluyen que el efecto de algunas actividades de origen antrópico (como la acción furtiva del ganado) pueden afectar seriamente la capacidad de recuperación de las especies locales ante sus perturbaciones naturales y por ende aminorar la capacidad del ecosistema para recuperarse.

Por otro lado, Rubio y Basic (2011) realizan un diagnóstico ambiental en la zona afectada por las ondas de tsunami, estimado preliminarmente el efecto de los residuos sólidos depositados por la onda de tsunami en el área protegida. También analizan el censo mensual de aves que lleva CONAF, para estimar preliminarmente el efecto que tuvo el tsunami sobre la abundancia y biodiversidad. Por último, reportan la segmentación de la laguna meses después de ocurrido el terremoto y tsunami.

El objetivo del presente trabajo es reunir y sintetizar diferentes antecedentes que permitan comprender la magnitud y tipo de daños que el terremoto y tsunami provocó en la Reserva Nacional El Yali.



Figura 1. Localización de la Reserva Nacional El Yali (33°45'S; 71°43'W) en el sur de la región de Valparaíso. Se señalan las localidades del entorno afectadas por el tsunami del año 2010 y las desembocaduras de los ríos Rapel (33°54'S; 71°49'W) y Maipo (33°37'S; 71°38'W) cuyas cuencas delimitan el sistema de humedales El Yali. Fuente: Adaptación de Google Maps.

METODOLOGÍA

Se usaron los datos del mareógrafo de Valparaíso, para graficar el arribo de la onda de tsunami en la región. Desde marzo a noviembre del año 2010, inmediatamente después de ocurrido el tsunami, se realizaron diez campañas de terreno a la reserva, cada una con diferentes propósitos: reconocimiento visual, registro del área de inundación, registro de parámetros como la penetración y trepamiento de la onda de tsunami, limpieza y clasificación de residuos sólidos depositados, geo referenciación de la ribera de la laguna y línea de costa (Tabla I). Junto a esto, se recolectaron diversos datos disponibles sobre los efectos del tsunami en el entorno de la reserva (Fritz *et al.*, 2011; Contreras *et al.*, 2012; Contreras y Winckler, 2013; Contreras-López, 2014).

Tabla I. Listado de campañas realizadas por fecha y principales actividades realizadas en la Reserva Nacional El Yali, posteriormente al terremoto y tsunami.

N°	Fecha	Actividades Realizadas	Observaciones
01	16/03/2010	Reconocimiento visual	Laguna conectada
02	18/03/2010	Registro parámetros tsunami	Laguna conectada
03	01/04/2010	Reconocimiento densidad residuos depositados	Laguna conectada
04	30/04/2010	Recolección residuos sólidos depositados	Laguna no conectada
05	08/05/2010	Recolección residuos sólidos depositados	Laguna no conectada
06	02/06/2010	Recolección residuos sólidos depositados	Laguna no conectada
07	26/08/2010	Levantamiento topográfico playa	Laguna no conectada
08	13/09/2010	Referenciación ribera y nivel laguna	Laguna no conectada
09	09/10/2010	Referenciación ribera y nivel laguna	Laguna conectada
10	08/11/2010	Recolección residuos sólidos depositados	Laguna conectada

Con un GPS de 3 metros de precisión horizontal, se posicionó la ribera de la Albufera y su emplazamiento con respecto a la línea de más alta marea e hitos geográficos inmutables en el tiempo.

Se recolectaron y clasificaron los residuos sólidos depositados en 30 hectáreas adyacentes a la Albufera. La clasificación usada fue: plásticos, plumavit, vidrios, madera y otros. La recolección se hizo en cuadrantes de 100 m x 25 m, procediendo a pesar y estimar el volumen de los artículos encontrados, depositados por el tsunami.

Para estudiar los efectos del tsunami sobre la abundancia y diversidad de las aves en el sector, se utilizaron los censos mensuales de aves realizados por los guardaparques de CONAF durante los años 2009 y 2010 en la Albufera. Para analizar las diferencias encontradas antes y después del tsunami, con los censos se realizó una comparación mes a mes con respecto a la variación del número de especies, con especial atención a lo ocurrido en el mes de Marzo del año 2010, se estimó el porcentaje de variación, como también se identificó por categoría el nivel de pérdida de las especies.

RESULTADOS

En las inmediaciones del área en estudio (San Antonio y Valparaíso), la onda del tsunami tuvo una altura entre 1,3 y 1,5 m, arribando pasadas las 4:00 A.M (30 minutos después del sismo principal). No hubieron testigos en la Reserva Nacional El Yali, pero de acuerdo a lo establecido en las localidades más cercanas (Mostazal al Sur y Llolleo al Norte), se puede inferir que la onda de tsunami principal arribó pasadas las 5:30 A.M. En la figura 2 se muestra el registro del mareógrafo de Valparaíso.

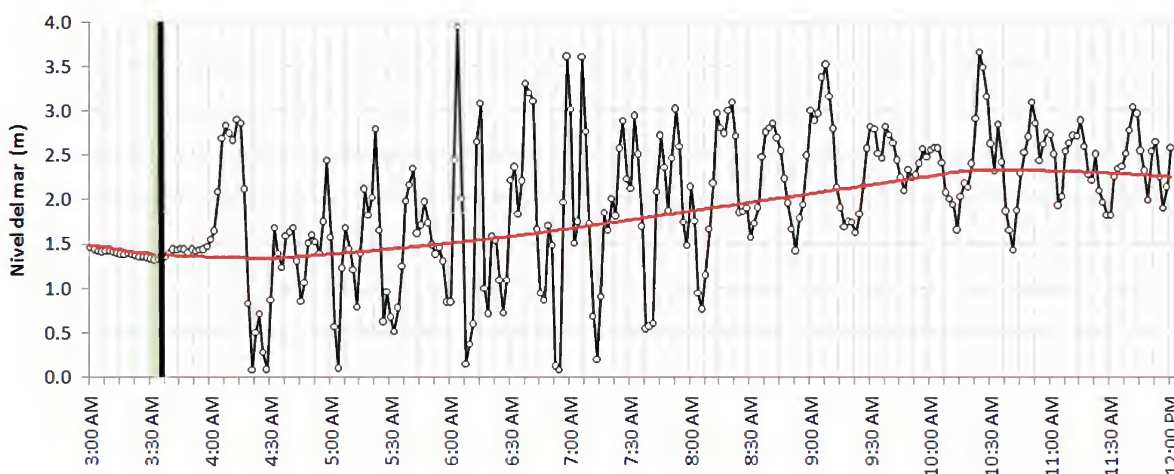


Figura 2. Registro nivel del mar en puerto Valparaíso entre las 3:00 y 12:00 AM del 27 de febrero de 2010. La línea gruesa central indica el nivel del mar pronosticado por consideraciones astronómicas (marea). La línea vertical señala hora del sismo (3:34 AM). Las fluctuaciones sobre la marea pronosticada corresponden al registro de las ondas de tsunami en Valparaíso.

En la localidad de Cartagena, 35 km al norte de la Reserva Nacional El Yali, la onda penetró unos 100 metros y cobró la vida de una persona. En el puerto de San Antonio arrastró embarcaciones y causó algunos daños en las instalaciones portuarias, no siendo afectada la población (Contreras y Winckler, 2013). Inmediatamente al sur, en la localidad de Llolleo, sin embargo, la onda penetró 450 metros, arrasó más de 160 viviendas ligeras (Contreras *et al.*, 2012) y cobró la vida de 5 personas para terminar inundando las lagunas costeras Ojos de Mar de Llolleo. La onda de tsunami remontó 2,5 km por la ribera del río Maipo después de arrasar la barra de arena. En Santo Domingo y la localidad de las Brisas de Santo Domingo, la onda de tsunami penetró en promedio 80 metros, apenas afectando el terreno de playa, siendo detenidas por las características dunas de arena de sus playas (Paskoff y Manríquez, 2004). Al sur de la Reserva Nacional El Yali, la onda de tsunami ingresó con violencia en el estero Maitenlahue, arrasando algunas viviendas ligeras en caleta Mostazal después de ingresar 400 metros (Contreras y Winckler, 2013), cobrando una séptima víctima fatal. En esta localidad se registraron los *runup* más importantes de la región de Valparaíso, superando los 10 metros (Fritz *et al.*, 2011).

En la Tabla II se consignan la profundidad de inundación, *runup*, intrusión horizontal y número de víctimas fatales por cada una de las localidades cercanas a la reserva.

La profundidad de inundación en las localidades cercanas a la reserva fueron bastante consistentes y en promedio corresponde a 4,41 metros, con una desviación estándar de 1,07

metros. El *runup*, en cambio, presenta una dispersión mayor con rangos entre los 0,70 y 14,70 metros, con un promedio de 4,83 metros, que se reduce a 3,28 metros si se excluyen los registros extremos de caleta Mostazal.

En la figura 3 se ejemplifican los cambios experimentados por la ribera de la laguna, comparando la situación antes del tsunami con la situación en el año 2011 a partir de imágenes GoogleEarth. El posicionamiento de la ribera de la Albufera con GPS confirmó la ocurrencia de esta segmentación. El tsunami del 27 de Febrero de 2010 sobrepasó la laguna completamente, alterando su posición. La ribera oeste de la Albufera se trasladó unos 30 metros hacia el este. La superficie total de la laguna disminuyó en un 14% con respecto a la presente antes del tsunami (de 175.419 m^2 se redujo a 151.159 m^2), quedando los tres cuerpos de agua con las siguientes superficies: 122.198 m^2 (laguna norte), 26.653 m^2 (laguna centro) y 2.308 m^2 (laguna sur en las inmediaciones de la desembocadura del estero El Yali).

Tabla II. Profundidad de inundación, *runup*, intrusión horizontal y número de víctimas fatales por localidad en la región de Valparaíso en las inmediaciones de la Reserva Nacional El Yali. SD = Sin Dato.

N°	Localidad	Latitud	Longitud	Profundidad Inundación	*Runup*	Intrusión horizontal	N° Victimas
1	Cartagena	33°32'32.32"	71°36'09.65"	SD	4,00	103,0	1
2	San Antonio	33°35'25.80"	71°36'57.00"	SD	SD	0,0	0
3	Llolleo	33°36'16.92"	71°37'31.08"	SD	3,90	57,2	5
4		33°36'25.78"	71°37'33.24"	4,00	SD	77,9	
5		33°36'26.57"	71°37'32.56"	3,00	SD	179,9	
6		33°36'26.64"	71°37'18.84"	SD	2,00	455,0	
7		33°36'26.96"	71°37'34.93"	4,60	SD	122,2	
8		33°36'27.79"	71°37'21.97"	3,30	SD	455,2	
9		33°36'51.84"	71°37'36.84"	SD	2,60	27,9	
10	Santo Domingo	33°38'20.40"	71°38'05.64"	SD	4,80	93,0	0
11	Las Brisas	33°42'20.52"	71°39'32.76"	5,53	3,40	72,2	0
12	El Yali	33°44'51.72"	71°42'30.24"	5,20	3,20	320,0	0
13		33°45'05.40"	71°43'03.36"	3,13	2,10	180,0	
14		33°46'07.68"	71°44'31.20"	SD	0.70	624,0	
15	Caleta Mostazal	33°50'02.76"	71°48'49.68"	SD	10.40	114,0	1
16		33°50'12.12"	71°48'51.48"	5,58	SD	SD	
17		33°50'13.92"	71°48'57.96"	SD	14,70	69,0	
18		33°50'13.92"	71°48'43.92"	5,35	SD	SD	
19		33°50'16.80"	71°48'41.40"	SD	6,10	434,0	

La introducción del agua marina por la onda de tsunami alteró los parámetros físicos, químicos y biológicos, de la Albufera (Rubio y Basic, 2011). En el mes de septiembre del año 2010 se constató la segmentación de la laguna en dos partes: lagunas norte y sur, separadas en unos 500 metros aproximadamente. Un mes después se produjo una nueva separación, esta vez la laguna sur se volvió a dividir en dos partes, diferenciándose las lagunas norte, centro (sector norte de la antigua laguna sur) y laguna sur (sector sur en las inmediaciones de la desembocadura del estero).

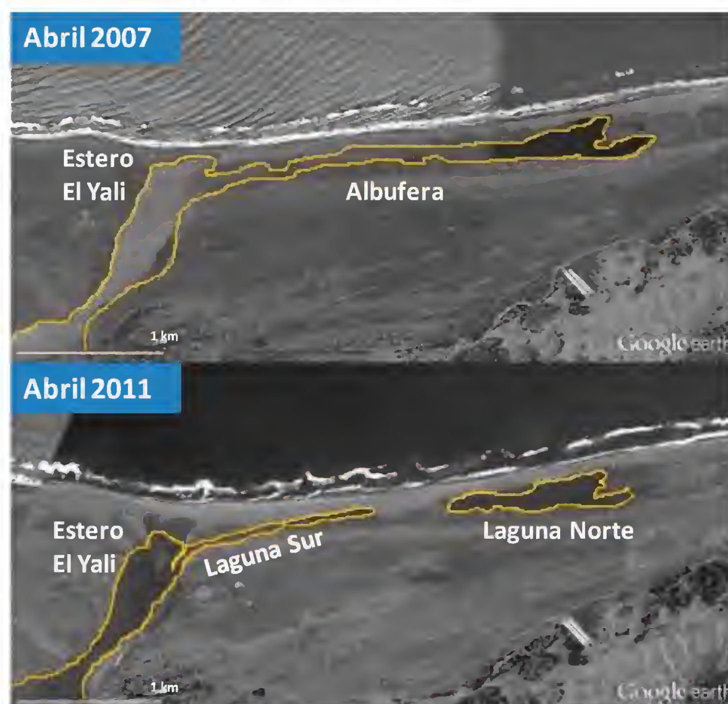


Figura 3. Desembocadura y Albufera de El Yali en (a) Abril de 2007 (antes del tsunami) y (b) Abril de 2011 (después del tsunami).

Durante un tiempo, estos cuerpos de agua sostuvieron conexiones esporádicas con el mar, dependiendo de las mareas y marejadas: Existía conexión en pleamares de sicigia y marejadas.

En el interior de la reserva, el terremoto produjo una grieta de unos 10 cm de ancho que corría desde la ribera de la laguna Matanzas hasta la laguna Colejuda, que se encontraba con su espejo de agua bastante reducido debido a la época estival. En el álveo de la laguna, esta grieta se transformó en una aparente falla, asociada con levantamientos o hundimientos de decenas de centímetros por el sector central de la laguna (figura 4).



Figura 4. Se muestra la grieta que corría desde la laguna Matanzas a la laguna Colejuda (derecha), y los levantamientos o hundimientos que se aprecian en algunos sectores son resaltados con los círculos (izquierda).

La disposición de residuos sólidos domiciliarios y artes de pesca corresponde a uno de los problemas provocados por el tsunami de mayor impacto visual (figura 5). Se realizaron cinco campañas especiales para la recopilación y clasificación de los residuos. Durante las campañas de limpieza realizadas se lograron clasificar y cuantificar los datos mostrados en la tabla III. El área total limpiada de la reserva corresponde a 30 hectáreas, de un total de 200 hectáreas contaminadas, en las cuales se extrajeron aproximadamente 3 toneladas de residuos sólidos.



Figura 5. Línea de residuos sólidos depositados por la onda de tsunami en las inmediaciones de la Albufera (sector emplazado 400 m sobre la línea de más alta marea).

Tabla III. Resultados por categoría de residuos recolectados. Fuente: Rubio y Basic (2011).

Tipo	Peso [kg]	% peso	Volumen [lt]	% Volumen
Plásticos	1.305,43	44,03	19.875,85	41,89
Plumavit	357,05	12,04	10.773,41	22,71
Maderas	477,85	16,12	2.422,20	5,10
Vidrios	221,57	7,47	7.357,85	15,51
Varios	602,90	20,34	7.020,01	14,79
Total	2.964,79	100,00	47.449,32	100,00

El plumavit encontrado proviene de artes de pesca (boyas y flotadores de redes). También se encontraron residuos plásticos y vidrios, muchos de antigua data, lo que hace suponer que provienen de depósitos de asentamientos rurales como Mostazal (18 km hacia el sur) o del vertedero de Llo-Lleo (23 km al norte), siendo este último socavado por el tsunami del 27 de Febrero (Contreras *et al.*, 2012.). Se encontraron además muestras médicas y otros residuos de origen hospitalario.

Para el análisis de los efectos sobre la biodiversidad, se extrajeron los datos del Censo de Aves año 2009 y 2010 (figura 6) más representativos dependiendo la tasa de cambio que estas experimentaron durante los dos años, se evaluó la variación de diversidad especies y cantidad de individuos mes a mes, infiriendo mediante gráficos realizados, que los meses más representativos para el estudio fueron mayo, junio, agosto y diciembre (figura 7).

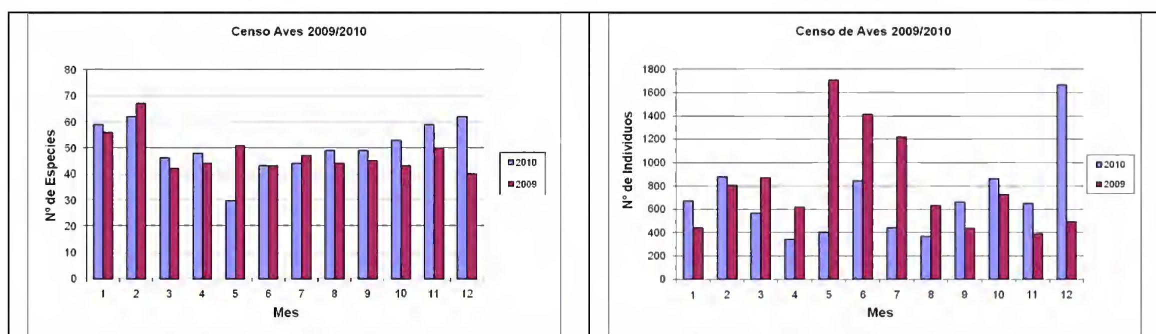


Figura 6. Comparación número de especies (izquierda) y número de individuos (derecha) censados mensualmente por CONAF entre los años 2009 y 2010. Fuente: Rubio y Basic (2011).

Se puede observar que en los meses de mayo y diciembre existen las cifras más críticas de desaparición de especies, con un 50% y 51% respectivamente. Mientras que los porcentajes de individuos nuevos que se avistaron en el año 2010, recaen en los meses de junio y julio, con un 28% y 25% respectivamente.

Al paso de los meses la condición mejora y el porcentaje de desaparición total baja, manteniéndose en 37% los meses de junio y julio. En agosto la pérdida total de especies llega a un 45% y en diciembre disminuye a un 25%.

La tagua (*Fulica armillata*), fue una de las especies más afectada, consignando una pérdida de cientos de individuos. Esto se puede explicar por las costumbres de anidación de esta ave en los junquillos de las orillas de lagunas (Goodall y Johnson, 1951), vegetación que fue completamente arrasada por el tsunami. Durante los meses posteriores al mes de mayo, se fueron recuperando paulatinamente hasta llegar a su comportamiento normal.

En diciembre se observa una pérdida significativa de la especie cisne coscoroba (*Coscoroba coscoroba*) con un 50% de pérdida, lo cual equivale a 67 individuos. Esta especie anida entre los meses octubre y diciembre, sobre pastos en bordes de lagunas, y pequeñas islas flotantes de vegetación (Goodall y Johnson, 1951). Por lo tanto, el tsunami no afectó sus nidos, pero la falta de vegetación en este cuerpo de agua, debió ser la razón por la cual esta especie migró hacia otro lugar.

Estas cifras muestran que las aves residentes fueron las más afectadas por el tsunami del 27 de Febrero, muchos de sus lugares de nidificación y reproducción desaparecieron, es presumible también que la onda de tsunami arrasó con muchos de los nidos. En la época invernal se observaron las mayores pérdidas. La condición cambia llegando la primavera. Este es el periodo en el que llegan las aves migratorias, por lo tanto, se puede inferir que la laguna para esta fecha ya estaba recuperando el equilibrio y las condiciones aptas para albergar a estas aves.

Se observa que en el mes de mayo la pérdida más severa es de un 64%, esta cifra define que del 64% de las especies que existían en el mes del mayo del año 2009, no se visualizó ninguno de estos individuos durante el mismo mes en el año 2010.

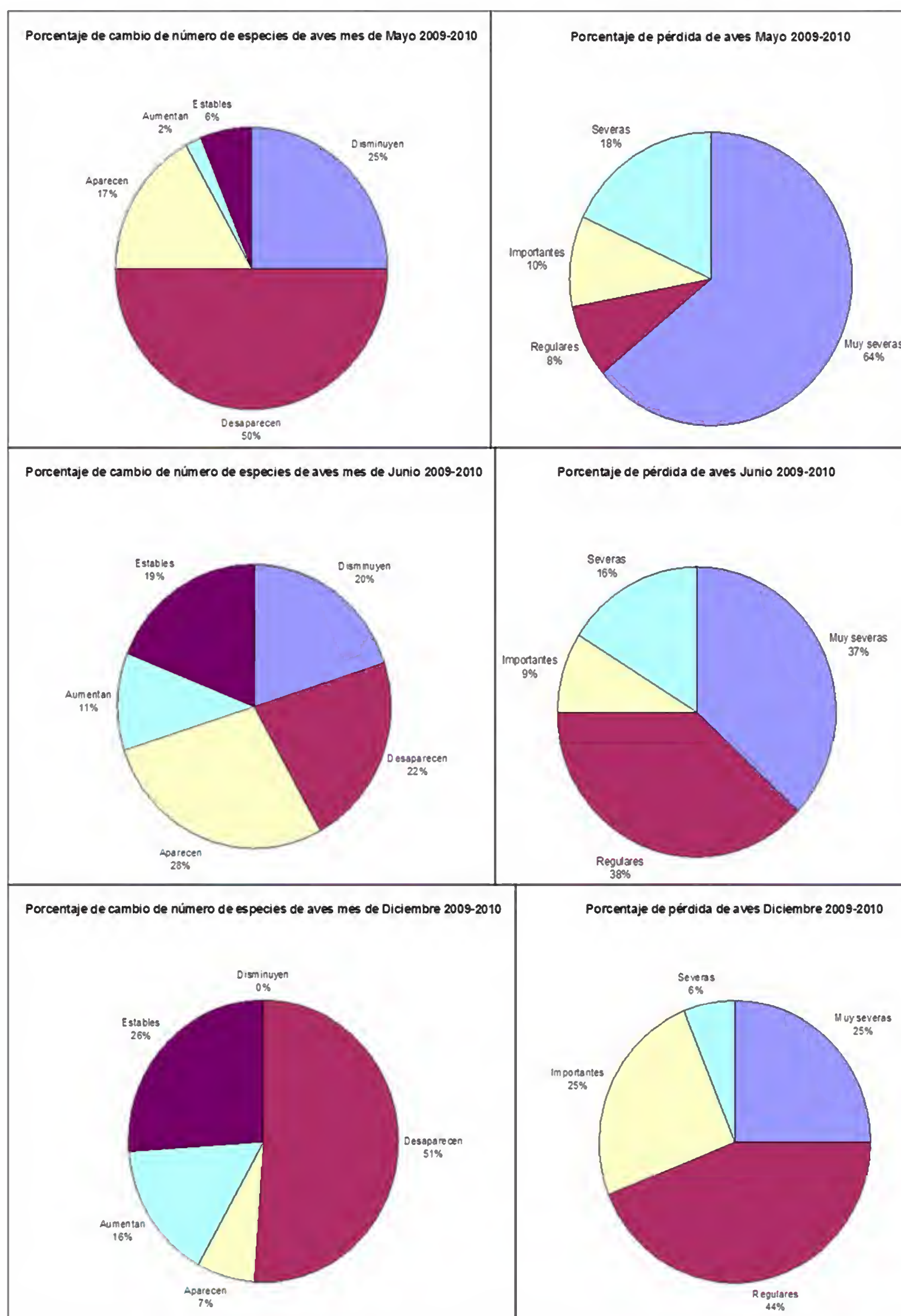


Figura 7. Porcentajes de cambio de número de especies aves y pérdida de aves en la comparación entre los años 2009 y 2010 para los meses de mayo, junio y diciembre. Fuente: Rubio y Basic (2011).

DISCUSIÓN

A lo largo del litoral afectado por el tsunami, diversas playas de arena, barras de arena y sistemas dunares fueron arrasados por las ondas destructivas. Los movimientos co-sísmicos verticales rompieron los delicados equilibrios hidrodinámicos que definen los procesos de erosión y sedimentación que aportan material para la construcción y sustentación de playas, barras, flechas litorales y dunas costeras. En algunos casos, el terremoto provocó movimientos de subsidencia. Mientras que en otros, solevantamientos. En las inmediaciones de la Reserva Nacional El Yali, no fue posible determinar el sentido y magnitud del movimiento co-sísmicos. Sin embargo, existen evidencias que respaldan un hundimiento. En primer lugar el avance tierra adentro de la playa y terreno de playa, en algunos casos la variación fue de 70 metros (figura 8), por supuesto esto se podría deber a la erosión provocada por las ondas del tsunami; pero también se constató, en segundo lugar, el cambio en el nivel de reducción de sonda del puerto de San Antonio, que fue corregido debido a que el nivel medio del mar experimentó un alza abrupta después del terremoto. Se puede inferir que este hundimiento es del orden de una decena de cm, pues diversos autores estiman que no hubo hundimiento o bien no fue perceptible, pero que existe un error de decímetros para el lugar (Vargas *et al.*, 2011; Quezada *et al.*, 2010, 2012; Melnick *et al.*, 2012; Farias *et al.*, 2010).

Varios de los lugares afectados por el tsunami presentaron una rápida recuperación, destaca la barra de arena del río Mataquito (González *et al.*, 2012; Villagran *et al.*, 2012). Aun cuando las perturbaciones producidas por el terremoto, tuvieron consecuencias en los equilibrios ecológicos de la zona costera (Jaramillo *et al.*, 2012; Jaramillo *et al.*, 2012a), los principales efectos reportados dicen relación con el solevantamiento de cuerpos de agua costeros, que se desecaron posteriormente, como es el caso del humedal Tubul - Raquí, que experimentó casi 2 m de levantamiento (Valdovinos *et al.*, 2010, 2012; Martínez *et al.*, 2012), y no con la pérdida de las dunas y playas de arena, que tendieron a recuperarse rápidamente.

Sin embargo, en El Yali, la recuperación de las dunas y playa de arena no ocurrió inmediatamente. La pérdida de las dunas de arena que separaban la Albufera del mar, significó la pérdida de una barrera de protección natural. Esto dejó vulnerable a la laguna costera a: pleamares en sicigias, marejadas (como las ocurridas en agosto de 2010 y mayo de 2013), ondas de tsunamis no destructivos (Japón 2011, Iquique 2014). Esta vulnerabilidad significa que después del tsunami, la Albufera se conecta con mayor frecuencia al mar, lo que ha modificado la composición de columna de agua y seguramente ha tenido consecuencias con respecto a las especies de aves presentes. El número de especies se vio afectado principalmente en el mes de mayo y diciembre de 2010, donde un 50% de las especies desaparecieron, pero fueron reemplazadas por un 20% de especies nuevas a partir del mes de junio (figura 7). Con respecto al número de individuos, en el mes de diciembre se comienza a experimentar una recuperación en varias especies. Al revisar los censos mensuales que lleva CONAF en la Reserva Nacional El Yali, se puede constatar que con posterioridad al año 2010, el número de individuos y el número de especies de aves censadas se recuperó.

El proceso de segmentación de la Albufera parece ser la búsqueda de un nuevo punto de equilibrio en los procesos sedimentarios como respuesta a la eventual subsidencia del lugar, la disminución de los aportes hídricos debido a la prolongada sequía que afecta la zona y la alteración de las dunas que servían de protección a la laguna costera.

La pérdida de dunas parece haber generado un efecto indirecto al facilitar el libre tránsito de vehículos motorizados por el terreno de playa, cuyo paso asusta a las aves del entorno.

Con respecto a los residuos sólidos depositados en la zona inundada por el tsunami, se observa que su composición difiere de la basura que típicamente se encuentra en las playas del país (Hidalgo - Ruz y Thiel, 2013; Bravo *et al.*, 2009). Destaca el elevado porcentaje de plásticos (sobre el 40%) y de plumavit (12%), elementos que se han comprobado tienen nocivos efectos sobre las aves marinas (Derraik, 2002; Azzarello y Van Vleet, 1987; Elliott y Elliott, 2013). Debido a que las aves marinas son reconocidas como eficientes indicadores de problemas ambientales en la zona costera (Furness y Camphuysen, 1997), el efecto combinado de la pérdida de la duna y los residuos sólidos deben implicar una alteración en la población de aves asociadas a la reserva.



Figura 8. Cambios de la línea de playa, dunas y ribera de la albufera, entre antes y después del tsunami.

Como efecto del terremoto, se pudo apreciar una grieta que cruzó gran parte de la zona interior de la reserva nacional (entorno de la ribera Matanzas y Colejuda). Esta grieta en algunos puntos se transformó en un solevantamiento o hundimiento de terreno de unos 0,5 m. En el lugar donde ocurrió, Encinas *et al.* (2006), indica que se encuentra el límite de la formación Rapel.

CONCLUSIONES

El tsunami de campo cercano del 27 de Febrero de 2010, inundó 840 hectáreas de la zona costera del sistema de humedales El Yali, de las cuales 213 hectáreas corresponden al área protegida como Reserva Nacional y sitio Ramsar. La inundación logró penetrar cerca de 1.400 metros en el sector sur de la Albufera, 830 metros en el sector norte de la misma laguna costera, 200 metros en la playa localizada al norte de la Reserva Nacional y 2.000 metros en los médanos y el estuario El Yali. Se encontraron evidencias que la onda de tsunami remontó hasta 5,2 km estuario arriba, llegando al sector de Las Salinas, pero sin causar daños importantes.

La onda de tsunami alcanzó un *runup* de 3,20 metros en el sector y en algunos puntos la inundación llegó a los 5,20 metros. En el sector se depositaron restos de viviendas, artes de pesca y residuos sólidos domiciliarios presumiblemente provenientes de Caleta Mostazal (15 km al sur) y Llolleo (25 km al norte), que alcanzaron las 84 toneladas, 21 de las cuales fueron depositadas en el área protegida. Se estima que cada 10 hectáreas, se depositó una tonelada de residuos.

El tsunami gatilló un proceso de segmentación de la laguna costera, probablemente debido a una combinación de un hundimiento local producto de los movimientos cosísmicos verticales, la

disminución de los aportes hídricos por la sequía que afecta el lugar y la alteración de la dunas que servían de protección entre la laguna y el mar.

El avistamiento de nuevas especies de aves con respecto al año 2009, puede ser un indicador de los cambios experimentados por la columna de agua de la laguna.

AGRADECIMIENTOS

La Dirección General de Investigación de la Universidad de Playa Ancha, financió parcialmente este trabajo a través de los proyectos DGI – ING 03/2011 y DGI - ING 01/1213 y el Fondo de Desarrollo Disciplinario en Medio Ambiente para la Facultad de Ingeniería. Se agradece especialmente a la Dirección Regional de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), sus profesionales y guardaparques: Iván Velásquez, Ingrid Fruht, John Ruminot, Jenny Prieto, Javiera Meza y Homero Gallardo.

BIBLIOGRAFÍA

AZZARELLO, M.Y. Y VAN VLEET, E.S. 1987. Marine birds and plastic pollution. Marine Ecology - Progress series, (37): 295 - 303.
BARRIENTOS, S. 2010. Terremoto (m=8.8) del 27 de febrero de 2010 en Chile. Revista de la Asociación Geológica Argentina 67 (3): 412 – 420.
BRAVO, M.; GALLARDO, M.A.; LUNA-JORQUERA, G.; NÚÑEZ, P.; VÁSQUEZ, N. Y THIEL, M. 2009. Anthropogenic debris on beach in the SE Pacific (Chile): results from a national survey supported by volunteers. Marine Pollution Bulletin, (58): 1718 - 1725.
CONTRERAS, M.; WINCKLER, P. Y URBINA, L. 2012. Área de inundación y efectos del tsunami del 27 de febrero de 2010 en la localidad de Llolleo, San Antonio – Chile (33º36.5''s). Revista Geográfica de Valparaíso (46): 69 – 81.
CONTRERAS, M. Y WINCKLER, P. 2013. Pérdidas de vidas, viviendas, infraestructura y embarcaciones por el tsunami del 27 de febrero de 2010 en la costa central de Chile. Obras y proyectos (14):6–19.
CONTRERAS-LÓPEZ, M. 2014. El tsunami de campo cercano del 27 de febrero de 2010 sobre la laguna costera El Yali (33º45'S). Revista geográfica de Valparaíso (49): 3 – 15.
DELOUIS, B.; NOCQUET, J. Y VALLÉE, M. 2010. Slip distribution of the February 27, 2010 Mw = 8.8 Maule Earthquake, central Chile, from static and high-rate GPS, InSAR, and broadband teleseismic data. Geophysical Research Letters, Vol. 37, L17305.
DERRAIK, J.G.B. 2002. The pollution of the marine environment by plastic dibris: a review. Marine Pollution Bulletin, (44): 842 - 852.
ELLIOTT, J.E. Y ELLIOTT, K.H. 2013. Tracking Marine Pollution. Science, (340): 556 - 558.
ENCINAS, A.; LE ROUX, J.; BUATOIS, L.; NIELSEN, S.; FINGER, K.; FOURTANIER, E. Y LEVENU, A. 2006. Nuevo esquema estratigráfico para los depósitos marinos miopliocenos del área de Navidad (33º00'-34º30'S), Chile central. Revista Geológica de Chile, Vol. 33(2): 221-246.
FARIAS, M.; VARGAS, G.; TASSARA, A.; CARRETIER, S.; BAIZE, S.; MELNICK, D. Y BATAILLE, K. 2010. Land-level changes produced by the Mw 8,8 2010 chilean earthqueake. Science (329): 916.
FARIÑA, J.M.; ARAGONESE, N.; ARMESTO, S.; ALMAR, R.; BERTNESS, M.D. Y SILLIMAN, B. 2010. Cambios en la estructura de hábitat de la Laguna Albufera, Humedal El Yali (V Región), luego del Tsunami del 27 de Febrero del 2010. Boletín Red de Universidades Cruz del Sur. Capítulo Ciencias del Mar, Nº 1.
FRITZ, H.; PETROFF, C.; CATALÁN, P.; CIENFUEGOS, R.; WINCKLER, P.; KALLIGERIS, N.; WEISS, R.; BARRIENTOS, S.; MENESES, G.; VALDERAS-BERMEJO, C.; EBELING, C.; PAPADOPOULOS, A.; CONTRERAS, M.; ALMAR, R.; DOMINGUEZ, J. Y SYNOLAKIS, C. 2011. Field Survey of the 27 February 2010 Chile Tsunami. Pure and Applied Geophysics (168): 1989–2010.
FURNESS, R.W. Y CAMPHUYSEN, K. 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. ICES Journal of Marine Science (54): 726 - 737.
GOODALL, J. Y JOHNSON, A. 1951. Las Aves de Chile. Su conocimiento y sus costumbres. Tomos I y 2. Buenos Aires: Platt establecimientos gráficos S.A. 803pp.

GONZÁLEZ, P.; ORTIZ, J.; JEREZ, R.; PAVEZ, M. Y ARCOS, D. 2012. Efectos del tsunami 2010 en el humedal del río Mataquito. En Humedales costeros de Chile (Fariña, M.J. y Camaño, A). Santiago: Ediciones UC, pp. 351 - 389.
HIDALGO-RUZ, V. Y THIEL, M. 2013. Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. Marine Environmental Research, (XXX): 1 - 7. http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.015.
JARAMILLO, E.; MANZANO, M.; MORALES, G. Y VELÁSQUEZ, C. 2012. Interacción entre defensas costeras artificiales en playas arenosas y perturbaciones naturales de gran escala: el terremoto del 27F de 2010 en la costa del centro - sur de Chile. Revista de Geografía Norte Grande, (53): 75 - 84.
JARAMILLO, E.; DUGAN, J.E.; HUBBARD, D.M.; MELNICK, D.; MANZANO, M.; DUARTE, C.; CAMPOS, C. Y SÁNCHEZ, R. 2012a. Ecological implicarions of extreme events: footprints of the 2010 earthquake along the Chilean coast. PlosOne, 7(5): 1 - 8.
LORITO, S.; ROMANO, F.; ATZORI, S.; TONG, X.; AVALLONE, A.; MCCLOSKEY, J.; COCCO, M.; BOSCHI, E. Y PIATANESI, A. 2011. Limited overlap between the seismic gap and coseismic slip of the great 2010 Chile earthquake. Nature Geoscience (4): 173 – 177.
MARTÍNEZ, C.; ROJAS, O.; ARÁNGUIZ, R.; BELMONTE, A.; ALTAMIRANO, A. Y FLORES, P. 2012. Riesgo de tsunami en caleta Tubul, región del Biobío: escenarios extremos y transformaciones territoriales posterremoto. Revista de Geografía Norte Garnde, (53): 85 - 106-
MELNICK, D.; CISTERNAS, M.; MORENO, M. Y NORAMBUENA, R. 2012. Estimating coseismic coastal uplift with an intertidal mussel: calibration for the 2010 Maule Chile earthquake (Mw = 8.8). Quaternary Science Reviews, (42): 29 - 42.
MOREANO, H.; ARREAGA, P. Y NATH, J. 2012. El tsunami de Chile 27-02-2010 y su comportamiento en las zonas costera e insular del Ecuador. Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol. 17(1): 31 - 39.
NOAA. 2013. Tsunami Event Database. National oceanic and atmospheric administration. National Geophysical data center. Disponible en: http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=70&d=7 (fecha última visita en mayo de 2014).
PARARAS-CARAYANNIS, G. 2010. The Earthquake and Tsunami of 27 February 2010 in Chile – Evaluation of Source Mechanism and of Near and Far-field Tsunami Effects. Science of Tsunami Hazards, Vol. 29(2), pp. 96 – 126.
PASKOFF, R. Y MANRÍQUEZ, H. 2004. Las dunas de las costas de Chile. Instituto Geográfico Militar. Santiago, 112pp.
QUEZADA, J.; JAQUE, E.; BELMONTE, A.; FERNÁNDEZ, A.; VÁSQUEZ, D.; Y MARTÍNEZ, C. 2010. Movimientos cosísmicos verticales y cambios geomorfológicos generados durante el terremoto Mw = 8,8 del 27 de febrero de 2010 en el centro – sur de Chile. Revista Geográfica del Sur (2): 11 – 45.
QUEZADA, J.; JAQUE, E.; FERNÁNDEZ, A. Y VÁSQUEZ, D. 2012. Cambios en el relieve generados como consecuencia del terremoto Mw = 8,8 del 27 de febrero de 2010 en el centro - sur de Chile. Revista de Geografía Norte Grande, (53): 35 - 55.
RUBIO, A. Y BASIC, B. 2011. Investigación de impactos ambientales post tsunami Chile 2010 en la laguna Albufera perteneciente al humedal El Yali (33°45'30"S). Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Ambiental y al Grado Académico de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería. Facultad de Ingeniería, Universidad de Playa Ancha, Valparaíso, 165pp.
VALDOVINOS, C.; MUÑOZ, M.D.; SALDOVAL, N.; VÁSQUEZ, D. Y OLMOS, V. 2010. Desastres naturales y biodiversidad: El caso del Humedal costero Tubul - Raqui. Sociedad Hoy (19): 33 - 51.
VALDOVINOS, C.; SANDOVAL, N.; VÁSQUEZ, D. Y OLMOS, V. 2012. El humedal costero Tubul - Raqui: un ecosistema chileno de alto valor de conservación severamente perturbado por el terremoto del 2010. En Humedales costeros de Chile (Fariña, M.J. y Camaño, A). Santiago: Ediciones UC, pp. 391 - 437.
VARGAS, G.; FARÍAS, M.; CARRETIER, S.; TASSARA, A.; BAIZE, S. Y MELNICK, D. 2011. Coastal uplift and tsunami effects associated to the 2010 Mw8.8 Maule earthquake in Central Chile. Andean Geology, 38 (1): 219 - 238.
VILLAGRÁN, M.; CIENFUEGOS, R.; ALMAR, R.; CATALÁN, P. Y CAMAÑO, A. 2012. Tsunami du chili 2010: destruction du système littoral et retour vers un équilibre sédimentaire?. Cherboung: XII Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil. DOI:10.5150/jngcgc.2012.058-V